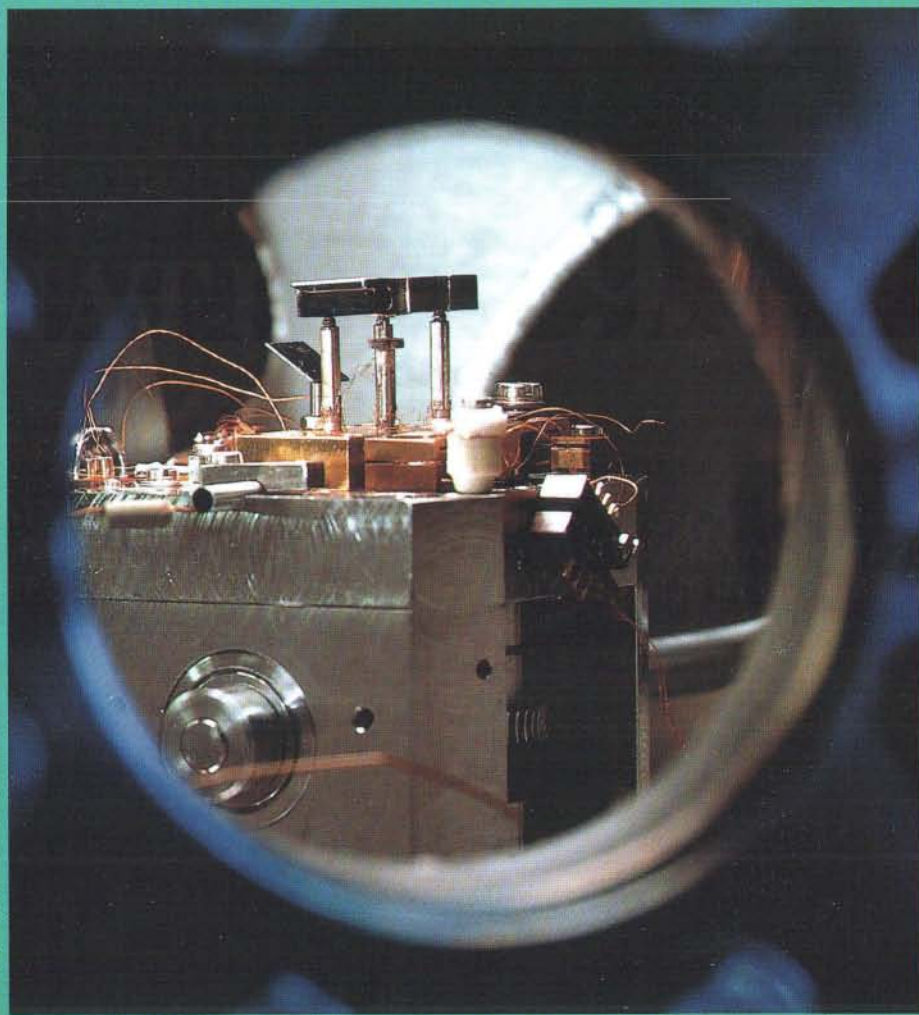


6 | 61^e jaargang

NATUUR '93 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



NATUURCONSTANTEN

PREPAREREN/SPLIJTSTOFBEWAKING/KUSTLEVEN VAN ANTARCTICA/
ENERGIE VOOR DE SPIEREN/HET MIDDAGDUTJE IN ERE HERSTELD

De Wetenschappelijke Bibliotheek blijft groeien.

***Een wereld van
onderzoek gaat voor
u open.***



Niet voor niets telt de Wetenschappelijke Bibliotheek al bijna 8000 enthousiaste leden. Als lid van de Wetenschappelijke Bibliotheek betaalt u per deel niet f 74,50 of 1460 BF maar slechts f 49,75 of 975 F. Met recht van retour – zó overtuigd zijn wij van de kwaliteit van deze serie!

bynolyt



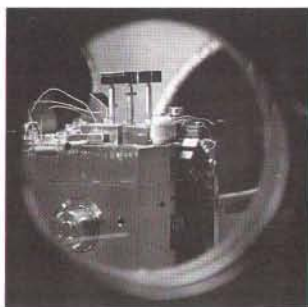
Beleef het Universum door een Bynostar astronomische telescoop. Zij bieden u een scherpe blik in de wereld van planeten en sterren. Het ideale verlengstuk van uw hobby. Bel voor een gratis brochure. Deze geeft uitstekende informatie om uw aanschaf te bepalen.

technolyt Industrieweg 35 1521NE Wormerveer Tel. 075-282204/285767 Fax 075-213663

NATUUR '93 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 12,25 of 240 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Vanaf pagina 492 beschrijft dr R. Muijlwijk hoe onderzoekers proberen de kilogram te vervangen door een natuurconstante, zoals bijvoorbeeld een bepaald aantal siliciumatomen. De scanning-tunnelingmicroscopie laat zien hoe zuiver het siliciumkristal is.

(Foto: KFA Jülich, D)

Hoofredactie: Th.J.M. Martens, Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek, Drs E.J. Vermeulen.

Secretariaat: Drs L.P.J. Slangen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Dr W.A. Casparie, Drs G.P.Th. Kloeg, A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Redactie-adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten. De Redactie-adviesraad adviseert in algemene zin maar draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, D. Gorissen, P. Maas.

Druk: Valkenburg Printers Echt (Ned.).

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044
(tot 20.30 uur, ook in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 125,- of 2450 F.

Voor studenten: f 95,- of 1860 F.

Abonnement voor drie jaar: f 320,- of 6275 F.

Overige landen: f 35,- extra porto (zeepost) of f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 12,25 of 240 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel: Betapress BV, Gilze (Ned.).

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK worden afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar. Zonder schriftelijke opzegging voor het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Advertentie-exploitatie: Publiciteitsbureau Spoor & Partners BV (lid VOME), Postbus 200, 2060 AE Bloemendaal (Ned.).

Telefoon: 0(0-31)23-271114. **Fax:** 0(0-31)23-254045. **Telex:** 41529 spoor nl.

Redactie, vormgeving en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres: Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

Telefax: 0(0-31)43 216124. **Telex:** 56642 natu nl

Postrekening: In Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur & Techniek, Maastricht.

In België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur & Techniek, Brussel.

Bankrelatie: In Nederland: ABN-AMRO-Bank NV, Heerlen, nr. 44.82.00.015.

In België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

Verantwoordelijke uitgever in België: Bogaerts Nadia, Mankevosstraat 35, 1860-Meise/Brussel.

EURO
ARTIKEL

NOTU

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTIFICO (E).

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publicatie in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale Uitgeverij en Adviesbureau b.v.

INHOUD

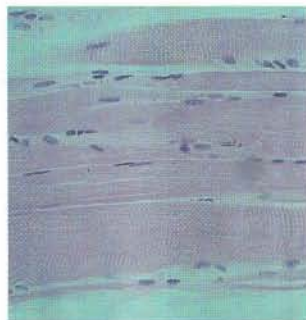
ACTUEEL	IV
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/Standaarden	443

SPORTBIOLOGIE 444

1. Energie voor de spieren

Michel Rieu

Fysieke inspanning gaat gepaard met een aantal metabole, hormonale, cardiale en zelfs immunologische reacties. Die moeten ervoor zorgen dat de spieren voldoende energie krijgen toegevoerd en dat het lichaam normaal blijft functioneren. Waarom hebben topsporters minder last van vermoeide spieren? Welke effecten heeft training op het spierweefsel of het hormonale evenwicht? Wat onderscheidt een sprinter van een marathonloper? Na zo'n twintig jaar onderzoek aan topatleten en getrainde proefdieren kunnen deze vragen voor een deel worden beantwoord.



SPLIJTSTOFBEWAKING 456

Controle op vreedzaam gebruik

R.J.S. Harry

Met de ontdekking van de kernsplijting in 1939, kwam een enorme energiebron beschikbaar, die ten goede en ten kwade kan worden aangewend. Het einde van de Tweede Wereldoorlog werd gemarkeerd door de vreselijke verwoestingen die een kernbom kan aanrichten. In 1965 hadden vijf staten kernwapens tot hun beschikking. Voortgang van die ontwikkeling zou nu tot twintig à dertig kernwapenstaten hebben geleid. Een internationaal non-proliferatiebeleid met onafhankelijke, internationale inspecties heeft deze ontwikkeling echter sterk afgeremd.



LEVEN IN DE MARGE 468

Kustvegetatie van Antarctica

Ad Huiskes, Niek Gremmen en Hans Francke

Antarctica is het continent van sneeuw en ijs. Wie daarbij denkt aan een zwijgende, witte wereld, komt bedrogen uit wanneer hij voet aan wal zet op dat continent. Het kustgebied en de kustzee hebben een opvallend rijk dieren- en plantenleven. Het gekrijs van meeuwen en sterns, het voortdurende gekwetter van de pinguïns, het fel oranje en geel van de korstmossen en het diepe groen van de mosbanken, maken de kusten van Antarctica allesbehalve stil en wit. Kenmerkend voor het leven op het Zuidpoolcontinent is de immer aanwezige invloed van de zee.



NATUUR '93 & TECHNIEK

juni/61^e jaargang 1993



PREPAREREN

480

Ambachtelijk behouden

Willem J. Mulder en Aldo M. Voûte

Alle levende organismen gaan eens dood en vergaan vervolgens tot 'stof'. Er zijn echter toevallige omstandigheden die dit proces ingrijpend kunnen beïnvloeden, zoals extreme kou, afsluiting van de buitenlucht of snelle uitdroging door de wind. Zo ontstonden bijvoorbeeld fossielen en, in de permafrost, de diepvrieskadavers die vele duizenden jaren oud kunnen zijn. De preparateur maakt gebruik van vergelijkbare processen, maar heeft ook een scala aan moderne methoden tot zijn beschikking, waarmee hij de bewaarbaarheid van dode organismen kan rekken.



NATUURCONSTANTEN

492

Fundamenten voor de fysica

R. Muijlwijk

Een natuurconstante is een fysische grootheid die 'van nature' constant is. Maar welke grootheden zijn echt onveranderlijk? De snelheid van het geluid? Nee, dat is geen natuurconstante, want geluid plant zich alleen voort in materie en de snelheid is dan sterk afhankelijk van die materie en de toestand van die materie. In de praktijk zijn het de grootheden waarvan de waarde in de tijd zeer weinig varieert of waarvan de eventuele variatie niet kan worden aangetoond met behulp van nog betere constanten.



EERHERSTEL VOOR HET MIDDAGDUTJE?

504

Paul van Dongen

Slapen doe je 's nachts en overdag ben je wakker. Kinderen en veel oude mensen doen weliswaar overdag een middagdutje, maar voor mensen tussen vijf en vijftig jaar zou één lange slaaperperiode per etmaal normaal zijn. Verder zouden middagdutjes hooguit goed zijn voor mensen in warme landen. De laatste jaren zijn er echter vele aanwijzingen gekomen dat het middagdutje deel uitmaakt van het normale biologische ritme van de mens. Niet alleen bij kleuters en ouderen, maar ook bij jonge volwassenen – zij het in mindere mate. Niet alleen in de (sub)tropen, maar ook in ons gematigde klimaat.

ANALYSE & KATALYSE/Grof geweld/De genencult

516

ACTUEEL

525

SIMULATICA/De kat van Arnold

528

PRIJSVRAAG

530

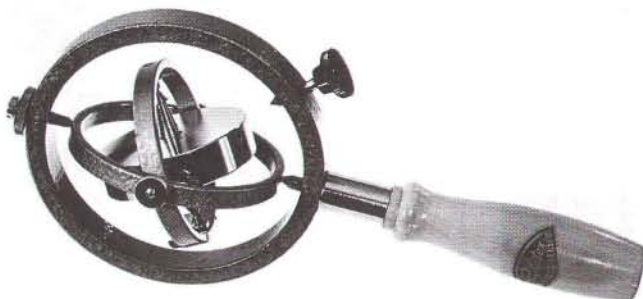
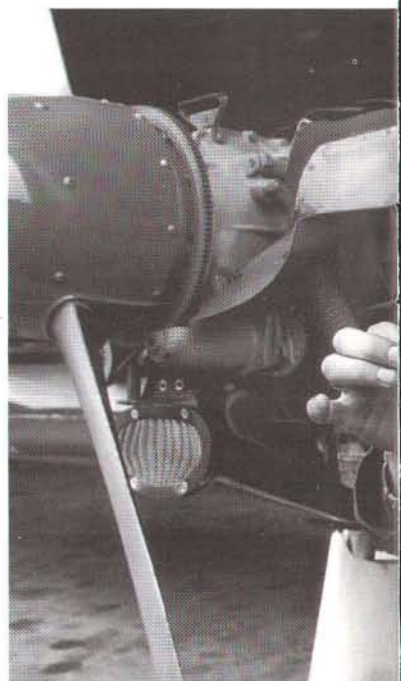
Gyrosensor

Engelse onderzoekers hebben START ontwikkeld, een revolutionaire gyroscoop, waarin zich geen draaiende tol bevindt. Deze koppeling van een eenvoudig mechanisch principe aan micro-elektronica, heeft een instrument opgeleverd dat slechts een tiende kost van de klassieke uitvoering. De klassieke gyroscoop kan men het best vergelijken met een tol. De draaiende beweging maakt dat de tol stabiel op z'n punt staat. Als de tol tot stilstand komt, is het afgelopen met de pret en valt de tol om. Hetzelfde principe speelt trouwens ook een rol bij het overeind blijven van een rijdende fiets. In een gyroscoop is de tol opgehangen in een stelsel van ringen die in twee onderling loodrechte richtingen kunnen kantelen. Als de tol draait, dan zal bij verplaatsing van het instrument de tolas steeds in dezelfde richting wijzen. Deze eigenschap maakte de gyroscoop een belangrijk instrument in de luchtvaart, in de vorm van het gyrokompas dat tijdens het nemen van een bocht de oorspronkelijke bewegingsrichting blijft aangeven.

Begin jaren tachtig begon men met de ontwikkeling van de START, een acronym voor Solid State Angular Rate Transducer ofwel vaste-stof-hoeksnelheids-omvormer. Dit instrument was met name bedoeld voor de markt van geleide projectielen, waar behoefte was aan sensoren die onder extreme omstandigheden de hoeksnelheid en de lineaire snelheid meten.

START bestaat uit twee onderdelen. Het mechanische deel is een kleine cilinder op een voetstuk, die aan een kant open is. Acht piëzo-elektrische elementen bevinden zich symmetrisch rondom het open einde van de cilinder (zie tekening). Het tweede deel

van het instrument is een module met een geïntegreerd circuit. Deze wekt door middel van vier piëzo-elektrische elementen (A en B in de tekening) die onderling een hoek van 90° maken en in fase zijn geschakeld, een trillingspatroon in de cilinder op. De gestippelde lijnen geven de maximale uitwijking van de cilinder weer, als daar geen krachten op werken. Twee van de resterende elementen die tegenover elkaar liggen, C in de tekening, bevinden zich dan op de trillingsknopen van de cilinder. Als de oriëntatie van de cilinder verandert, zullen de trillingsknopen van de elementen C wegdraaien. De hoek waarover de trillingsknopen wegdraaien, is een maat voor de oriëntatieverandering. De laatste

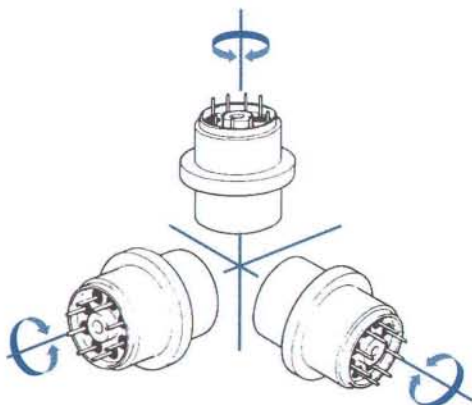
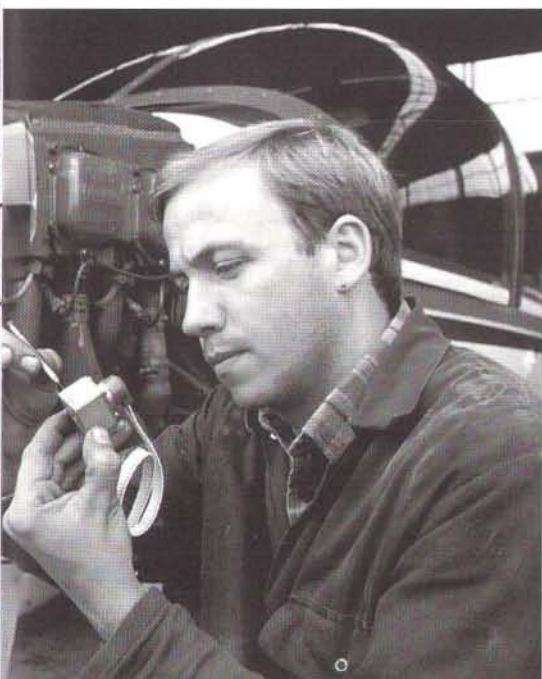


De ouderwetse gyroscoop bestaat uit een tol die is opgehangen binnen enkele kantelbare ringen. (Foto: Breukhoven bv, Capelle a/d IJssel)

twee piëzo-elektrische elementen (D) zorgen voor een negatief feedback-sigitaal, dat ertoe bijdraagt dat de sensor geschikt is voor uiteenlopende hoeksnelheden.

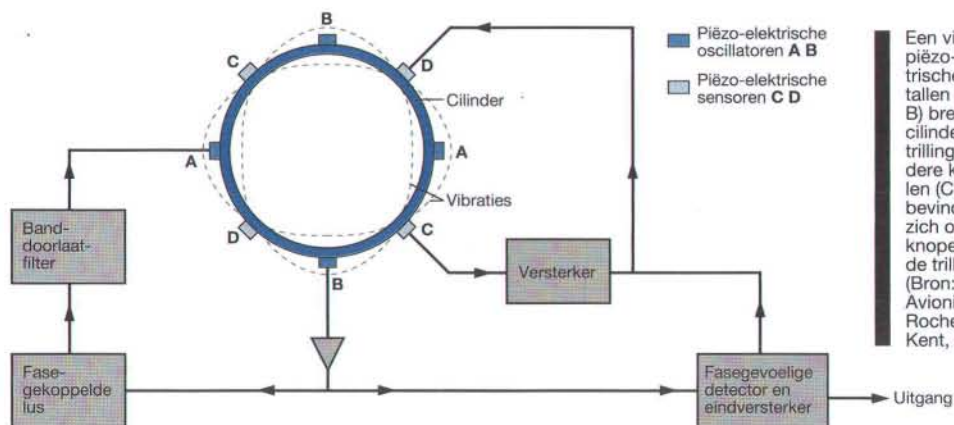
De eerste prototypen bleken een versnelling van 20 000 G te kunnen weerstaan. Bovendien was er nauwelijks sprake van ruis in het meetsigitaal. De sensor, cilinder

en elektronische module wegen samen 65 gram. Met een vermogensgebruik van 1,2 watt, werkt het geheel bij temperaturen tussen -40°C en 80°C. Omdat, dankzij de eenvoudige mechanische constructie, het instrument nauwelijks aan slijtage onderhevig is, zijn er nog tal van andere gebruiksmogelijkheden dan projectielen. Zo heeft men de sensor



In een vliegtuig of een projectiel bevestigt men drie START-sensoren langs loodrecht op elkaar staande assen. Gezamenlijk registreren de sensoren iedere oriëntatieverandering. (Bron: GEC Avionics, Rochester, Kent, GB)

Een monteur schroeft het doosje met het START-gyro-kompas dicht. De elektronische uitvoering van dit instrument is aanzienlijk goedkoper dan de klassieke uitvoering. (Foto: London Pictures Service)



Een viertal piëzo-elektrische kristallen (A en B) brengt de cilinder in trilling. Andere kristallen (C en D) bevinden zich op de knopen van de trilling. (Bron: GEC Avionics, Rochester, Kent, GB)

aangesloten op de ophanging van observatiecamera's in vliegtuigen aan beweeglijke masten, om de gezichtshoek te stabiliseren. Ook is hij gebruikt voor het richten van radarantennes op vliegtuigen.

De sensor is ook al toegepast in voertuigen. Zowel in personenwagens als in Formule-1-wagens, installeerde Lotus de sensoren

aan de wielophanging. De actieve wielophanging in de racewagens moet werken onder nogal apparaatuuronvriendelijke omstandigheden. Niettemin hebben de sensoren in deze auto's nog nimmer gefaald.

De toepassing van START in automobielen biedt veel perspectieven. De goedkope gyrosensor kan belangrijk bijdragen aan een

betere wegligging van auto's, terwijl hij geen onderhoud behoeft. De verwachting is dat er een ASIC-versie van de elektronische schakeling zal worden ontwikkeld, zodat START binnen afzienbare tijd op grote schaal kan worden geproduceerd.

Erick Vermeulen

Opgeslagen protonen

In het onderzoekscentrum Jülich, iets ten noordoosten van Aken, heerste onlangs een jubelstemming: voor de eerste maal lukte het om een protonenstraal op te slaan. Gedurende vijftig seconden, wat overeenkomt met zo'n 25 miljoen omlopen, doorkruisten drie miljard protonen de honderdtachtig meter lange omtrek van de opslagring.

In het instituut voor kernfysica van het onderzoekscentrum in Jülich, voert men al zo'n dertig jaar fundamenteel kernfysisch onderzoek uit. Zowel hier als in de vele kernfysische onderzoekscentra elders op de wereld, probeert men na te gaan uit welke bouwstenen materie bestaat en welke krachten materie bijeenhouden. De afgelopen decennia wisten onderzoekers de structuur van atoomkernen op te helderen. Maar bij het beantwoorden van vragen ontstaan ook weer nieuwe vragen. Zo raakte men geïnteresseerd in de structuur van de bouwstenen van de atoomkern. Om gedetailleerde informatie te krijgen over de kleinste bouwstenen – de zogenaamde quarks en de gluonen die zorgen voor de binding tussen quarks – was de bestaande deeltjesversneller ontoereikend. Dit cyclotron kon onvoldoende energie en precisie leveren.

In juli 1988 begon de aanleg van COSY Jülich, een koel- en opslagring die de protonenstraal uit een cyclotron zowel tot hogere energie moet versnellen als moet focuseren in een smalle bundel. De installatie heeft de vorm van een paarderenbaan met een omtrek van 184 meter. Talrijke loodzware magneten houden de protonenstraal in zijn baan en versnellen hem tot 96% van de lichtsnelheid. Dit komt overeen met een energie van 2,5 miljard elektronvolt. De straalpijp waar

de protonen in beweging, is vacuüm gezogen, zodat de protonen hun energie niet kwijtraken bij botsingen met luchtdeeltjes.

Het bijzondere van COSY Jülich is de wijze waarop men de protonenstraal koelt. Met twee verschillende processen – de 'elektronenkoeling' en de 'stochastische koeling' – verkrijgt men een regelmatige deeltjesstraal met ongeveer dezelfde doorsnede als een potloodvulling. Bij iedere

doorkomst, zo'n vijfhonderdduizend maal per seconde, wordt de straal bliksemsnel geanalyseerd en bijgestuurd.

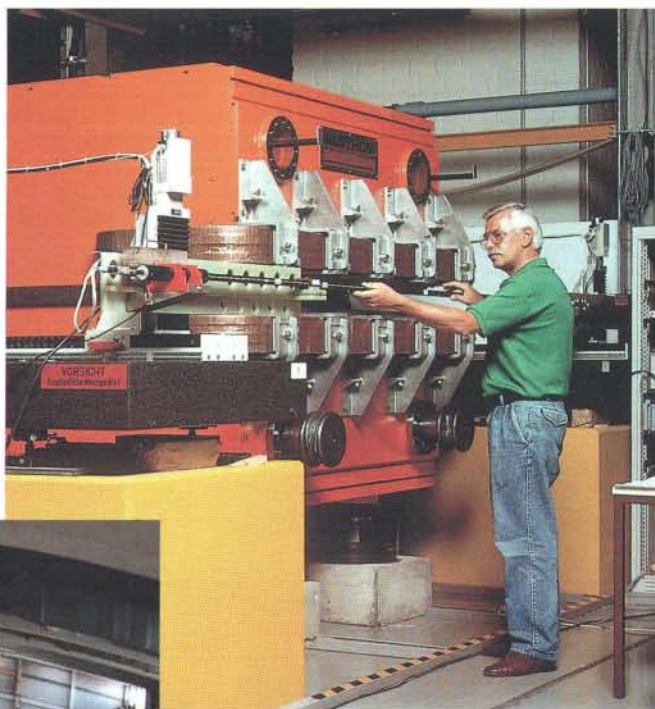
De bouw van de installatie bedroeg vijf jaar. Op 10 september 1992 stuurde men voor het eerst een deeltjesstraal uit het cyclotron in de COSY-ring. Een week later was het de onderzoekers en technici al gelukt om de apparatuur zo af te stellen dat de protonenstraal eenmaal de omtrek kon afleggen. Vier dagen later slaagde men er in om de protonenstraal te focuseren met behulp van de quadrupoolmagneten, zodat een gebundelde protonen-



stroom op een beeldscherm kon worden opgevangen.

Na deze snelle startsuccessen begon men aan de moeizame taak om het ionenoptische systeem zo in te stellen dat de protonenstraal meermaals langs de volle omtrek van de ring kan bewegen. Daarvoor was meetapparatuur nodig die wel de positie van de straal kan bepalen, maar die hem niet verstoort.

Op 7 december 1992 doorliep een protonenstraal viermaal de COSY-ring. Enkele dagen later was het record reeds twintig omlopen. Op 12 januari kon COSY tenslotte als werkelijke opslag-



Een technicus stelt de veldmeetinrichting af die ervoor moet zorgen dat protonen hun weg in de juiste richting vervolgen.
(Foto's: KFA Jülich, D)

De koel- en opslagring in Jülich, een soort versneller, is niet alleen geschikt voor protonen, maar ook voor andere geladen deeltjes. Er passen tegelijkertijd honderd miljard protonen in de ring.

ring functioneren: een protonenstraal bevond zich enkele milliseconden binnenin de ring, ofwel enige duizenden omlopen. In die periode doorliep de straal alsmäär het overlaadpunt en verloor zo aan intensiteit. Door de inzet van snel instelbare magneten, die de opgeslagen straal binnen milliseconden kunnen bijsturen zodat die langs het overlaadpunt gaat, verkreeg men tenslotte de opslagtijd van vijftig seconden.

Vele wetenschappers van het onderzoekscentrum in Jülich en van nabije universiteiten hebben de laatste jaren een scala van experimenten bedacht. Nu zullen ze die eindelijk in de praktijk kunnen uitvoeren. Bovendien zal COSY Jülich ook een praktische toepassing kennen, namelijk de precieze en effectieve bestraling van tumoren.

Persbericht KFA Jülich, D



Computer Algebra Nederland

Kruislaan 413
1098 SJ
Amsterdam

tel: 020 5926050
fax: 020 5924199
E-mail: can@can.nl

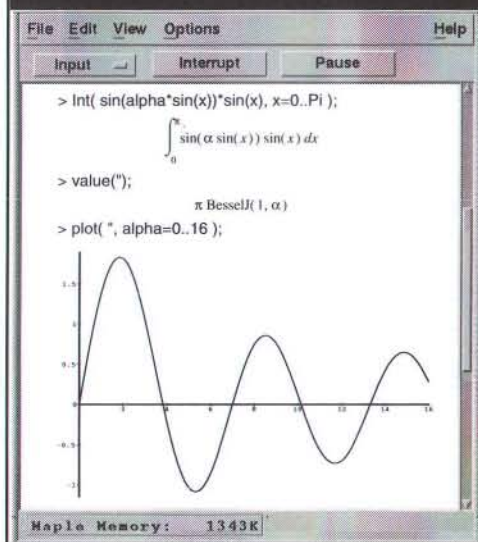
Computerpakketten die wiskunde doen, zoals het oplossen van vergelijkingen, differentiëren en integreren, kunnen het werk van wetenschappers en ingenieurs enorm verlichten. Rekenen met de computer is niet alleen sneller dan met de hand, maar ook betrouwbaarder; een computer maakt geen rekenfouten.

Maple is een pakket dat symbolisch en numeriek rekenen combineert met grafische mogelijkheden. Maple biedt een flexibele "high level" programmeertaal en is voor zien van een uitgebreide bibliotheek van wiskundige functies.

De PC versie (66k MS-Windows) is nu via CAN van f 1975,- voor f 985,- (excl. BTW) verkrijgbaar. Deze actie loopt tot eind juni '93.

Maple V

Het Computer Algebra Systeem



AUTEURS

Prof dr M. Rieu ('Sportfysiologie') studeerde van 1952 tot 1960 geneeskunde en wetenschappen aan de universiteit van Parijs, waar hij in 1961 promoveerde. Momenteel is Rieu afdelingshoofd van de sectie Fysiologie van de faculteit Geneeskunde Cochin-Port Royal te Parijs. Rieu werd op 15 oktober 1934 geboren te Parijs.

Drs R.J.S. Harry ('Spleetstofbewaking') werd op 17 november 1936 in 's-Gravenhage geboren. Hij studeerde van 1954 tot 1963 experimentele natuurkunde aan de RU te Leiden. Sinds 1963 is Harry als wetenschappelijk medewerker in dienst van ECN te Petten. Sinds 1971 verricht hij als project-coördinator onderzoek voor de spleetstofbewaking.

Dr A.H.L. Huiskes ('Antarctica') werd op 8 juni 1947 in Kampen geboren. Hij studeerde biologie van 1966 tot 1973 aan de RU te Groningen en promoveerde in 1977 te Bangor, Wales. Sinds 1978 is Huiskes in dienst van het Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek (NIOO) en wel bij het Centrum voor Estuariene en Mariene Oecologie.

Dr N.J.M. Gremmen ('Antarctica') studeerde biologie aan de KU te Nijmegen, waar hij in 1981 promoveerde. Sinds 1972 is Gremmen als ecohydrologisch onderzoeker werkzaam ten behoeve van natuurbeheer, gebiedsinrichting en beleid. Hij was deelnemer aan vijf expedities naar subantarctische en antarctische gebieden. Gremmen is in 1948 te Schijndel geboren.

J.W. Francke ('Antarctica') is geboren in Goes, op 27 november 1945. Sinds 1971 is hij als analist werkzaam bij het Centrum voor Estuariene en Mariene Oecologie van het Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek te Yerseke.

W.I. Mulder ('Prepareren') werd op 15 juli 1942 in Vlaardingen geboren. Van 1973 tot 1991 was hij als conservator in dienst van het Anatomisch Museum te Leiden. Momenteel bekleedt Mulder de functie van conservator bij de sectie Geneeskunde van het Universiteitsmuseum te Utrecht.

Dr A.M. Voûte ('Prepareren') studeerde biologie aan de Utrechtse universiteit en promoveerde er in 1972. Van 1963 tot 1986 was Voûte wetenschappelijk hoofdmedewerker aan de Universiteit Utrecht. Sinds 1987 is hij conservator bij de sectie Biologie van het Utrechtse Universiteitsmuseum. Voûte werd op 2 juli 1931 geboren te Amsterdam.

Dr R. Muijlwijk ('Natuurconstanten'), geboren in 1939, studeerde experimentele natuurkunde in Leiden en promoveerde er in 1968. Hij werkte een jaar in het National Measurement Laboratory in Australië. In 1970 kwam hij bij het IJkwezen, nu Nederlands Meetinstituut, waar hij thans manager wetenschappelijke staf is.

Dr P.A.M. van Dongen ('Middagdutje') is geboren in Breda, op 18 augustus 1949. Hij studeerde biologie aan de KU te Nijmegen, waar hij in 1980 promoveerde. Na zijn promotie heeft Van Dongen enkele jaren gewerkt aan het Karolinska Instituut te Stockholm. Sinds 1985 is hij als wetenschappelijk redacteur in dienst van Janssen Pharmaceutica te Tilburg.

Standaarden

In het dagelijkse leven en in de wetenschap hebben we met heel veel soorten standaarden te maken. In het standaardbeeld van de wetenschap wordt ervan uitgegaan dat de onderzoeker zich houdt aan de standaarden voor wetenschapsbeoefening, daarbij gebruikmakend van standaardenheden, zodat vergelijking mogelijk is wanneer de resultaten worden weergegeven in een artikel dat aan bepaalde standaarden moet voldoen. Het spreekt wel vanzelf, dat de onderzoeker zich ook aan morele standaarden dient te houden en bijvoorbeeld niet, zoals de toneelschrijver G.B. Shaw ooit heeft gezegd, zijn grootmoeder in een kookpot doet om te meten bij welke temperatuur ze overlijdt. Een laatste vorm van een standaard vinden we bijvoorbeeld in de ideale of standaard-depressie – een keurig gevormde golf op het verticale scheidingsvlak tussen warme tropische en koelere polaire lucht, die in de meteorologische praktijk vrijwel nooit voorkomt.

In de uitdrukking 'het standaardbeeld van de wetenschap' betekent standaard iets als gewoon, normaal, het meest voorkomend. Bij de meeste filosofen die de uitdrukking gebruiken, betekent zij ook een beetje 'onkritisch', iets waarover de meeste mensen menen niet meer te hoeven nadenken. De term standaard heeft hier op zijn best een neutrale, maar meestal een ietwat negatieve klank.

De standaarden voor wetenschapsbeoefening zijn behoorlijk gefundeerde spelregels: zo wordt het spel gespeeld, en als je je niet aan de spelregels houdt, speel je een ander spel. Dat andere spel mag misschien ook wel, kan best leuk zijn zelfs, maar het is geen wetenschap en de resultaten die dat andere spel oplevert, gelden niet als wetenschappelijke kennis. Aangezien de meeste mensen, zeker onder de lezers van dit blad, een hoge pet op hebben van wetenschappelijke kennis, heeft standaard hier een neutrale tot positieve betekenis.

De standaarden voor een wetenschappelijke publikatie liggen in het verlengde van die voor de wetenschapsbeoefening. Ze houden onder andere in dat de publikatie de elementen moet omvatten die haar controleerbaar (of de beschreven experimenten herhaalbaar) maken. Is er al een voortdurende discussie over wat nu wel en niet precies voldoet aan de standaarden voor wetenschapsbeoefening, het is voor iedereen zichtbaar dat lang niet alle publikaties de standaard halen. Vooral – maar niet uitsluitend – beleidsgericht werk wil nog wel eens de wenselijkheid over de aangedragen feiten laten heersen. En dat terwijl deze standaard al zodanig binnen het gebied van de wetenschappelijke spelregels valt, dat hij enkel een positieve klank heeft.


De standaarden die worden gehanteerd als natuurconstanten, beschreven door Muijlwijk vanaf pagina 492, hebben eigenlijk geen positieve of negatieve klank. Ze zijn nu eenmaal wat ze zijn – en daarmee van essentieel belang voor een steeds preciezere kennis van de wereld rondom ons.

Sport biologie

EURO
ARTIKEL

Het zou een hardloopwedstrijd voor ratten kunnen zijn. In het laboratorium van de auteur laten ratten rennen op een lopende band met een helling van tien procent. Een beginnende rat kan een snelheid van vijftien meter per minuut een half uur lang volhouden. Een getrainde rat loopt wel twee keer zo snel en houdt dat ook nog eens

twee uur vol. De onderzoekers hopen met dit diemodel inzicht te verwerven in de aanpassingen van een organisme op duurtraining. Door verwijdering van de thymus of de milt, biopsiën van spierweefsel en het toedienen van hormonen, kan men de veranderingen als gevolg van de training bestuderen.



Michel Rieu

Faculté de Médecine, Cochin Port Royal, Parijs

1. Energie voor de spieren

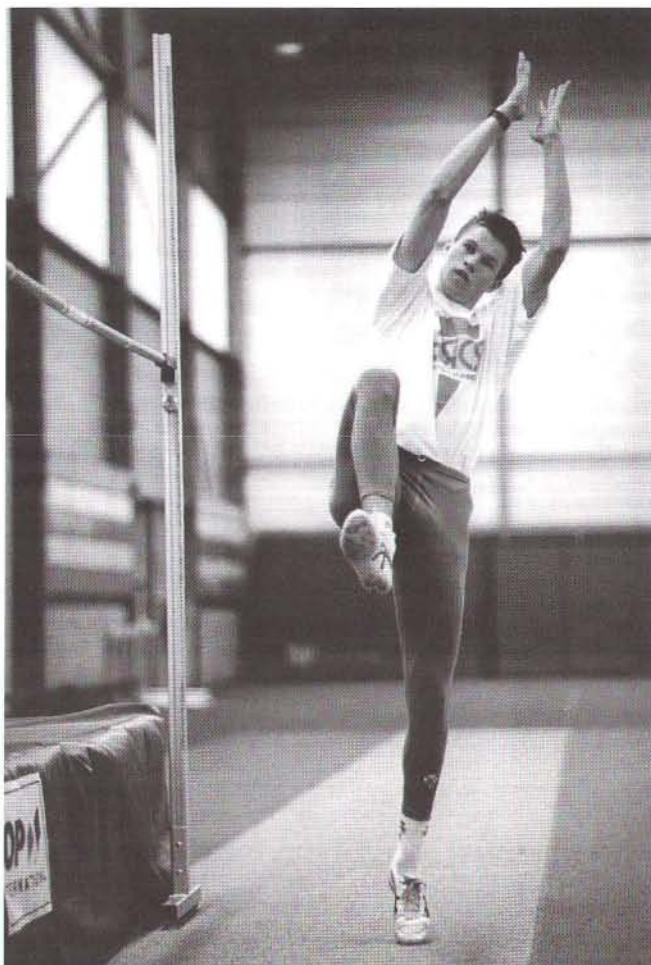
Fysieke inspanning gaat gepaard met een aantal metabole, hormonale, cardiale en zelfs immunologische reacties. Die moeten ervoor zorgen dat de spieren voldoende energie krijgen toegevoerd en dat het lichaam normaal blijft functioneren. Waarom hebben topsporters minder last van vermoeide spieren? Welke effecten heeft training op het spierweefsel of het hormonale evenwicht? Na zo'n twintig jaar onderzoek aan topatleten en getrainde proefdieren kunnen deze vragen voor een deel worden beantwoord. In twee artikelen gaat M. Rieu dieper op deze materie in. Deze maand laat hij zijn licht schijnen op de spieren.

Sport is veredelde spierarbeid. Omdat er in veel sporten sprake is van een maximale inspanning, vormt de sportbeoefenaar voor de onderzoeker een uitstekend object om na te gaan welk vermogen het menselijk organisme heeft om zich aan te passen aan fysieke inspanning. De laatste twintig jaar hebben sportonderzoekers veel kennis vergaard, met name op het gebied van de structuurveranderingen van de spiervezels bij inspanning. De onderzoeksresultaten dragen bij aan een beter begrip van het effect van training en de verbetering van de prestaties die daaruit voortkomt.

Het eenmalig uitvoeren van een eenvoudige oefening brengt talrijke fysiologische reacties op gang. Uiteindelijk leiden die ertoe, dat de spieren de energie krijgen die ze nodig hebben om zich samen te trekken. De spiercontractie is het gevolg van vormveranderingen van *contractiele eiwitten* van de spiervezel (zie Intermezzo). Die vormveranderingen, waarvoor calciumionen nodig zijn, kosten energie. Deze energie komt vrij bij de afbraak van een hoogenergetisch molecuul, het adenosinetrifosfaat (ATP). Eén mol ATP levert circa 40 kilojoules. Hoe heviger de contractie, des te meer ATP-molekulen de spiervezel verbruikt. De voorraad ATP die direct beschikbaar is in de spiervezel, is echter beperkt. Bij een grote krachtexplosie, zoals een sprint, is die al na een of twee seconden uitgeput. Wil de spier zich kunnen blijven samentrekken, dan moeten er dus nieuwe ATP-molekulen worden aangemaakt. In de spiervezel zijn er drie stofwisselingsprocessen die zorgen voor de ATP-productie (afb. 2). Onze kennis van deze processen is niet van vandaag of gisteren; ze is het resultaat van talrijke onderzoeken die begin deze eeuw zijn gedaan.

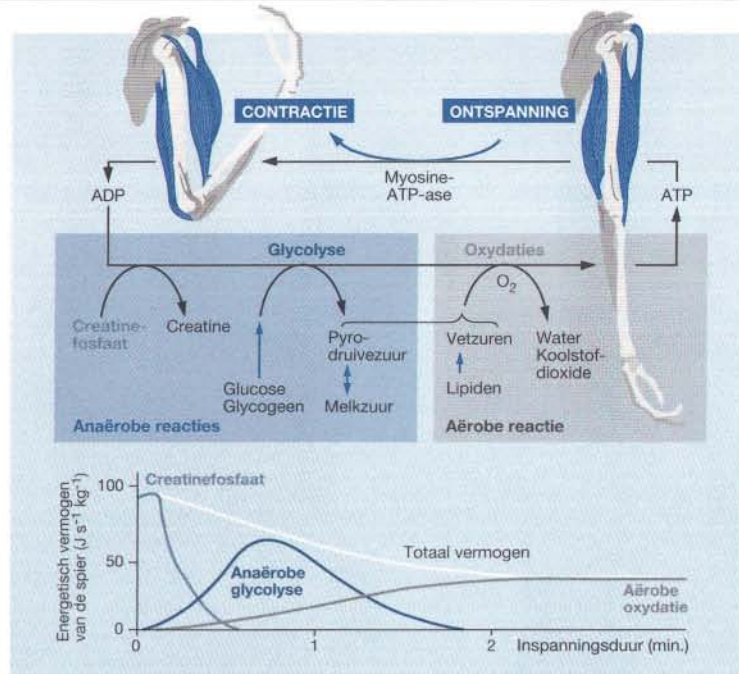
Afbraak zonder zuurstof

De eerste manier om ATP te produceren, vormt een soort noodenergievoorziening. Daarbij levert het energierijke eiwit creatinefosfaat, dat in kleine hoeveelheden in de spiervezel ligt opgeslagen, de energie. Die energie is vastgelegd in de binding van de fosfaatgroep aan creatine. Tijdens een enzymatische reactie kan het eiwit de fosfaatgroep overdragen op adenosinedifosfaat (ADP), waarbij weer ATP ontstaat. Creatinefosfaat vormt een extra energiereserve die onmiddellijk beschikbaar is, want de splitsing ervan leidt direct tot de vorming van ATP. Dankzij het creatinefosfaat is het mogelijk om de spiervezel geduren-



1. Een hoogspringer bereidt zich geconcentreerd voor. Hij zal proberen met een krachtexplosie over de lat te springen.

2. Het spannen van spieren vereist energie. Die komt vrij bij de omzetting van ATP in ADP door myosine-ATP-ase. De voorraad ATP is na twee seconden uitgeput, tenzij energieleverende reacties hem aanvullen. De twee eerste methoden om ATP te produceren (omzetting van creatinefosfaat en afbraak van glucose en glycocyten) gebruiken geen zuurstof, de zogenaamde anaërobe reacties. Maar zuurstof is onmisbaar bij de aerobe omzetting van vetten of pyrodruiwezuur. Bij een matige spierspanning komt de energie eerst uit de anaërobe reacties. Pas na twee minuten zal de energievoorziening geheel afhangen van de aerobe reactie, die de spier lange tijd van de nodige energie kan voorzien.



2

de korte tijd van voldoende energie te voorzien: ongeveer vijf tot zeven seconden. Deze reactie speelt dus vooral een grote rol tijdens een grote inspanning van korte duur, een krachtexplosie zoals die optreedt bij de sprint of het hoogspringen.

Een langduriger aanmaak van ATP treedt op bij de afbraak van glucose. Glucose ligt in de spier en in de lever grotendeels opgeslagen in de vorm van glycogeen, een polymeer. De afbraak van glucose brengt een keten van reacties op gang, die we aanduiden met de naam *glycolyse*. De reacties vinden plaats in het cytoplasma van de spiervezels. De glycolyse resulteert in de vorming van de verbinding melkzuur. Deze reactieketen treedt vooral op als aanvulling op de splitsing van het creatinefosfaat, tijdens grote inspanningen van middellange duur zoals de 400 meter hardlopen. Deze twee manieren van ATP-produktie in de spier hebben met elkaar gemeen dat ze uitstekend werken onder zuurstofloze omstandigheden. Het zijn anaërobe processen. Maar wanneer er sprake is van een zware inspanning, is het na ongeveer veertig seconden ook afgelopen met de tweede anaërobe reactie. Tijdens een langdurige inspanning zoals een

marathon (minimaal twee à drie uur rennen) of een etappe van de Tour de France, is de sporter volledig aangewezen op een derde manier van ATP-produktie: de aerobe afbraak, waarvoor – de naam zegt het al – zuurstof onontbeerlijk is.

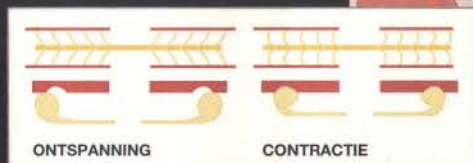
Energie door verbranding

Bij de aerobe afbraak ontstaat er geen melkzuur. De stof die bij de anaërobe afbraak van glucose in melkzuur wordt omgezet, *pyrodruiwezuur*, wordt bij de aerobe afbraak via een lange reeks reacties omgezet in koolstofdioxide en water. Ook vetzuren, die zijn ontstaan door de hydrolyse van vetten, worden omgezet in pyrodruiwezuur en vervolgens via dezelfde reactieketen afgebroken. Deze reacties, die we kennen als de citroenzuurcyclus en de ademhalingsketen, spelen zich niet af in het cytoplasma, maar in celorganellen: de *mitochondriën*.

De spiervezels in een spier hebben echter niet allemaal dezelfde eigenschappen (zie Tabel). Zo zijn er langzaam samentrekkende vezels, waarin het metabolisme hoofdzakelijk via oxydatie verloopt, dus aëroob. Deze vezels

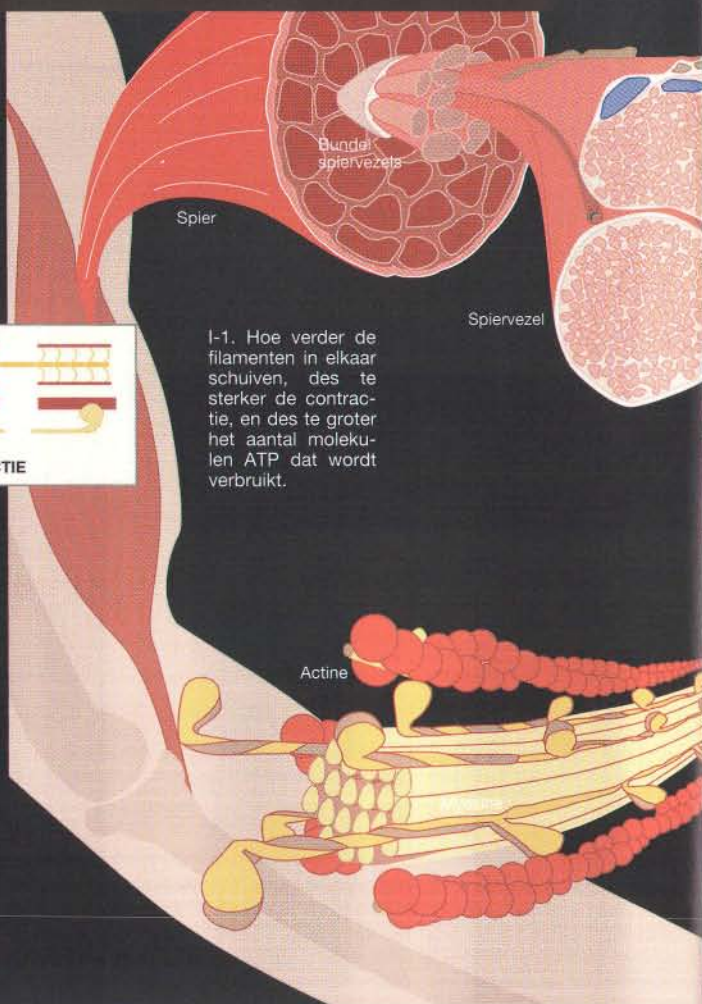
Het mechanisme van de spier

Elke spier bestaat uit bundels spiervezels. Een spiervezel is één zeer grote cel, met talrijke kernen. Binnen in de spiervezel liggen bundels myofibrillen, bestaande uit filamenten van contractiele eiwitten, die goed zichtbaar zijn op elektronenmicroscopische foto's. De myofibrillen zijn gestreept. De donkere banden noemt men de A-zone en de



lichte banden de I-zone. In het midden van de lichte banden loopt een smalle donkere lijn, de Z-lijn. De ruimte tussen twee Z-lijnen vormt een sarcomeer, de functionele eenheid van de vezel. Een sarcomeer bestaat uit twee soorten filamenten. Dat zijn de dunne actine-filamenten, die ter hoogte van de Z-lijn onderling met elkaar zijn verbonden door structuureiwitten, en de dikke myosine-filamenten. Tijdens de contractie schuiven de dunne filamenten tussen de dikke, wat leidt tot een verkorting van de spiervezel. Deze verschuiving is

I-1. Hoe verder de filamenten in elkaar schuiven, des te sterker de contractie, en des te groter het aantal moleculen ATP dat wordt verbruikt.

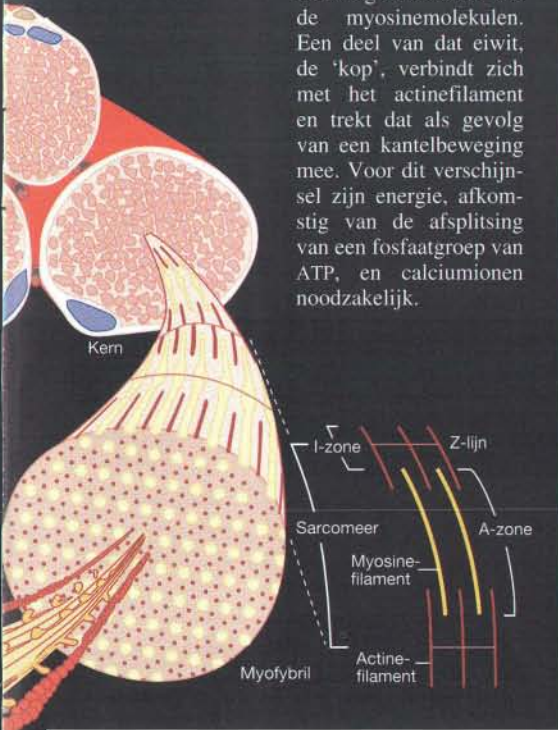


bevatten dan ook talrijke mitochondriën. Ze zijn zeer goed doorbloed en bevatten veel myoglobine, een eiwit dat de zuurstof uit het bloed bindt en de diffusie van zuurstof naar de cellen versnelt. De grote hoeveelheid myoglobine geeft deze vezels hun kenmerkende rode kleur. Deze vezels zijn ook rijkelijk voorzien van reservevet, dat als energievoorraad fungeert. Het levert de vetzuren die in de mitochondriën kunnen worden verbrand.

Andere vezels daarentegen kunnen snel en krachtig samentrekken. Hun metabolisme be-

rust, in tegenstelling tot dat van de langzame vezels, hoofdzakelijk op glycolyse. Ze bezitten dan ook grote voorraden glycogeen. Daarentegen zijn ze veel minder goed doorbloed, bevatten ze minder mitochondriën en weinig myoglobine. Tenslotte komen er nog spiervezels voor met een gemengd karakter. Ze werken snel en krachtig en hun stofwisseling verloopt niet alleen voor een groot deel via de glycolyse, maar ook via de aërobe weg (citroenzuurcyclus en ademhalingsketen). De snelheid waarmee de spiervezels zich samen-

het gevolg van een verandering in de vorm van de myosinemolekulen. Een deel van dat eiwit, de 'kop', verbindt zich met het actinefilament en trekt dat als gevolg van een kantelbeweging mee. Voor dit verschijnsel zijn energie, afkomstig van de afsplitsing van een fosfaatgroep van ATP, en calciumionen noodzakelijk.



trekken hangt overigens niet af van hun energievoorziening, maar van de structuur van hun samentrekkende eiwitten en van de activiteit van het enzym dat ATP afbreekt.

De mate waarin de verschillende vezeltypen in een spier voorkomen, verschilt per spier. Zo bevatten de strekspieren van de onderste ledematen, zoals de platte kuitspier, die bijdragen aan het handhaven van de lichaamshouding doordat ze tegen de zwaartekracht in werken, een veel hoger percentage langzame vezels dan de buigspieren van de voet. En de verhouding waarin de langzame en de snelle vezels in een spier voorkomen, verschilt per persoon. Tenslotte hangt de inzet van de verschillende vezeltypen af van de intensiteit van de spiercontractie.

Bij niet al te sterke contracties, zijn het allereerst de langzame vezels waarop een beroep wordt gedaan. Naargelang de mate van contractie toeneemt, mobiliseert de spiervezel vervolgens de snelle vezels. Voor een sporter

3. Onderzoekers aan de Rijksuniversiteit Limburg bestuderen hoe de stofwisseling van wielrenners

verloopt. Ze meten hoeveel zuurstof de sporters verbruiken en welke energie ze leveren.



4. De beste marathonlopers hebben nog ruim twee uur nodig om de 42 kilometer en 195 meter af te leggen. Bij zo'n langdurige inspanning moet er een goede zuurstofvoorziening van de spieren zijn. Het zijn vooral de rode vezels die het werk verrichten.



4

hangt het energieverbruik af van de intensiteit van de contracties en van het totale spiervolume dat in gebruik is, maar ook van het type energieverbruik. Het energetisch rendement van langzame vezels is hoger dan dat van snelle vezels. Uit diverse onderzoeken blijkt dat bij gelijke arbeid de eerstgenoemde minder energie verbruiken dan de laatste.

Lichaamsreacties

De spierbeweging gaat gepaard met een reactie van het hele organisme. Het belangrijkste gevolg van die reactie is de bevoorrading van de spieren met zuurstof en allerlei voedingsstoffen. De gasuitwisseling in de longen neemt toe, dat wil zeggen dat er een verhoging optreedt van de zuurstofopname en de koolstofdioxideafgifte, die evenredig is aan de mate van inspanning. De hartslag neemt toe, evenals – zij het in mindere mate – de hoeveelheid bloed die het hart bij iedere slag uitpomp. Door deze toename van de hartcapaciteit, kan het bloed meer zuurstof transporteren. De verdeling van het bloed over het lichaam verandert eveneens. Het organisme bevordert de bloedvoorziening van de actieve spieren, ten koste van de voorziening van andere delen

van het lichaam. Vooral de bloedvaten die de ingewanden van bloed voorzien (darmen, nieren, lever) krijgen minder bloed te verwerken. We kunnen deze veranderingen voor een groot deel toeschrijven aan een nieuw evenwicht in het autonome zenuwstelsel. Dat zenuwstelsel reguleert buiten onze wil onder andere het hartritme en het slagvolume en bepaalt de diameter van de bloedvaten.

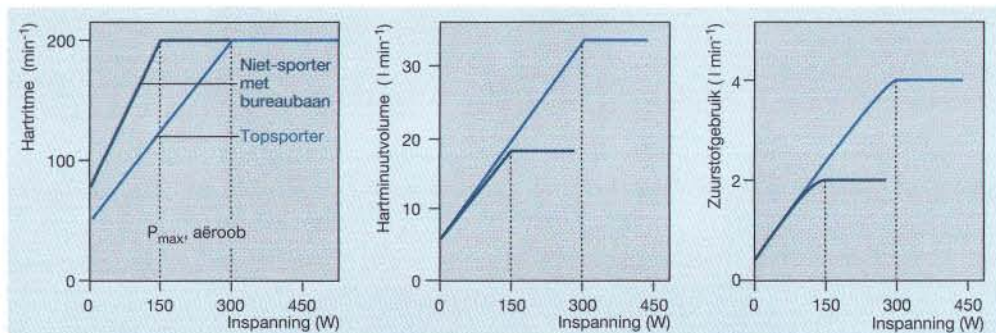
Het sympathische zenuwstelsel – het deel van het autonome zenuwstelsel dat dat inspanningsreacties van het organisme mobiliseert – krijgt de overhand over het parasympathische stelsel, dat juist het besparen en opslaan van energie bevordert. Het sympathische overwicht neemt toe naarmate de inspanning groter is.

Het zuurstofverbruik, de hartslag en het hartslagvolume nemen evenredig met de grootte van de inspanning toe. We kunnen deze factoren uitzetten tegen de loopsnelheid (afb. 5). Er is echter een grens. Als de drie parameters hun maximale waarde hebben bereikt, kan de inspanning niet meer toenemen. Met name de respons van het hart is dan aan zijn uiterste grens. Een grotere toevoer van zuurstof naar de spieren is dan niet meer mogelijk.

Het maximale zuurstofverbruik varieert echter sterk per individu. Terwijl het ongeveer 30 of 35 milliliter per kilogram per minuut draagt bij een zittende, rustende persoon, kan het bij een marathonloper oplopen tot maar liefst 80 ml $\text{kg}^{-1} \text{min}^{-1}$. Hetzelfde geldt voor de maximale hartcapaciteit. Het maximale hartritme hangt vooral af van de leeftijd van de persoon. Hoe ouder de persoon, des te lager het maximale hartritme is. Niettemin kan de mate van inspanning het maximale aërobe vermogen te boven gaan. In dat geval zal de energie die nodig is voor deze extra inspanning afkomstig moeten zijn van de anaërobe reacties in de spiervezels. Er vindt een versnelde afbraak van glycogeen plaats en de productie van melkzuur, het eindproduct van de anaërobe stofwisseling, neemt toe.

Hormonen en spierwerking

De spieractiviteit gaat ook gepaard met een hormonale reactie. De onderzoeker kan die meten door het nemen van bloed-, urine- of speekselmonsters. Deze hormonale aanpassing is sinds de jaren vijftig door talrijke onderzoeksteams intensief bestudeerd. In de eerste plaats draagt zij bij aan het handhaven van het evenwicht in het inwendig milieu door het verlies van water en zouten te beperken, met name tijdens langdurige inspanningen, waarbij het vochtverlies via transpiratie zeer groot kan zijn. Vooral de nieren zijn betrokken bij de vermindering van het vochtverlies. Ze beperken de hoeveelheid water en zouten die in de urine worden afgescheiden. Daarbij spelen twee hormonen een rol, namelijk het antidiu-



5

TABEL De spiervezels

Eigenschappen	Rode vezels	Gemengde vezels	Witte vezels
Vezeloppervlak (μm^2)	3,9	4,9	5,2
Contractiesnelheid	Langzaam	Matig	Snel
Ontwikkelde kracht	■	■ ■	■ ■ ■ ■
Neiging tot vermoeidheid	■	■ ■	■ ■ ■ ■
Overheersend metabolisme	Aëroob Oxydatief	Gemengd	Anaëroob Glycolyse
Aantal mitochondriën	■ ■ ■ ■	■ ■	■
Aantal bloedvaten	4 à 5	3 à 4	3
Myoglobine	■ ■ ■ ■	■ ■	■
Myosine-ATP-ase	■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■
Myosine	Langzaam	Snel-Langzaam	Snel
Substraatvoorraad:			
Triglyceriden	■ ■ ■ ■	■ ■	■
Glycogeen	■ ■	■ ■	■ ■ ■ ■
Gemiddelde verhouding:			
Dijspier	53%	33%	14%
Triceps (arm)	30%		70%
Platte kuitspier	85%		15%

5. Spierarbeid gaat gepaard met een aanpassing van het hart die het zuurstoftransport naar de spieren vergroot. Terwijl de mate van inspanning toeneemt (meetbaar op een ergometrische fiets), stijgt de hartslag en neemt de hoeveelheid bloed die het hart rondpompt toe. Ook het zuurstofverbruik stijgt tot een maximum: men bereikt het maximale aërobe vermogen. Op dat punt kunnen alleen nog de anaërobe reacties extra energie leveren. De mate waarin het hart zich weet aan te passen aan de inspanning is bij topsporters groter dan bij iemand die vooral zittend door het leven gaat. Het maximale zuurstofverbruik kan sterk variëren en is afhankelijk van het type sport.

retisch hormoon (ofwel vasopressine) dat door de hypofyse wordt afgescheiden en aldosteron, een produkt van de bijniere.

Andere hormonen stimuleren de afgifte van energierijke verbindingen aan de spiervezel. Adrenaline, glucagon en groeihormoon mobiliseren de glycogeen voorraad in de lever en de vetreserves in de vetweefsels, waardoor grote hoeveelheden glucose en vetzuren vrijkomen in het bloed. Cortisol stimuleert in de lever de neoglucogenese, ofwel de synthese van glucose uit aminozuren die afkomstig zijn uit de eiwitafbraak in het spijsverteringskanaal.

Weer andere hormonen die vrijkomen tijdens de inspanning, zoals testosteron en groeibevorderende stoffen uit de lever, stimuleren juist de eiwitsynthese. De gezamenlijke concentratie van deze hormonen in het plasma stijgt in de periode waarin spierarbeid wordt verricht. Daarentegen daalt de insulinespiegel van het bloed. Dat lijkt misschien paradoxaal, aangezien dat hormoon het glucoseverbruik door de spiervezels stimuleert.

Toch is die daling van de insulinespiegel niet zo tegenstrijdig. De fysieke inspanning heeft namelijk een zeer bepaalde invloed op het gebruik van suikers en vetten door de spier. Doordat zij de bloedtoevoer naar de ac-

6. Volgens sommigen is het gekkenwerk, anderen beschouwen het als het toppunt van sport. Bij de triathlon zwemmen de sporters enkele kilometers, waarna ze 180 kilometer fietsen en een marathon afleggen. Velen gaan tot het uiterste om de finish te halen.

7. In het fysiologisch laboratorium van de medische faculteit in Cochín Port Royal, lopen proefpersonen op een lopende band. Terwijl de proefpersoon zich afmat, registreren onderzoekers allerlei gegevens, zoals zuurstofverbruik en hartslag.

8. Dwarsgestreept spierweefsel dankt zijn naam aan de regelmatige rangschikking van de sarcomeren, ofwel de onderdelen van de spiervezel die zorgen voor het samentrekken van de spieren.





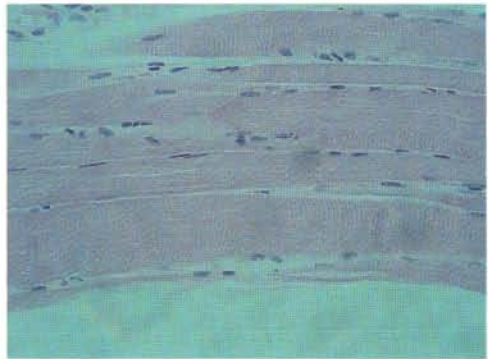
7

tieve spieren doet toenemen, wordt plaatselijk de aanvoer van glucose en vetzuren door het bloed vergroot en de afbraak daarvan dientengevolge bevorderd. Ook vertonen de spiervezels een grotere gevoeligheid voor insuline, die nog verscheidene uren na de geleverde inspanning blijft bestaan en die gepaard gaat met een verhoging van de glucose-opname door de zich samentrekkende vezels. Daarnaast nemen de mitochondriën versneld vetzuren op, die ze vervolgens aëroob verwerken.

Vermoeidheid slaat toe

Het organisme heeft echter zijn grenzen. De fysieke inspanning gaat op kortere of langere termijn gepaard met een vermoeidheid van de spieren. Waar komt die vandaan? De essentiële factoren vormen nog een onderwerp van wetenschappelijke discussie. Ze zijn in ieder geval afhankelijk van de aard van de inspanning.

Tijdens duursporten, zoals marathonlopen, lange-afstandszwemmen (800 meter vrije slag), langlaufen of wielrennen, leidt de vermindering van de glycogeenvoorraad in lever en spieren tot hypoglycemische uitputting. Bovendien leidt het overmatige gebruik van vetten als energiebron door de langzame spiervezels, tot de ophoping in het bloed van toxische verbindingen, de zogenaamde ketonlichamen. Daardoor daalt de pH van het bloed. Deze verzuring kan zelfs tot een coma-achtige toestand leiden. Voorts veroorzaakt een extreem vochtverlies – als gevolg van transpira-



8

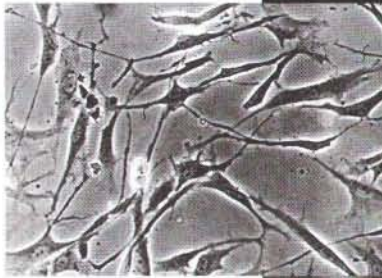
tie – uitdroging en een vermindering van het plasmavolume met soms twintig procent. Daarbij ontstaat het gevaar dat het hart het laat afweten. Het beeld wordt in het algemeen gecompliceerd door het optreden van minuscule beschadigingen van de spiervezels.

Voor inspanningen van korte duur, zoals 400 of 1500 meter hardlopen of korte-baanwedstrijden op de schaats, betrekken de spieren de noodzakelijke energie hoofdzakelijk langs anaërobe weg. De oorzaak van de ver-

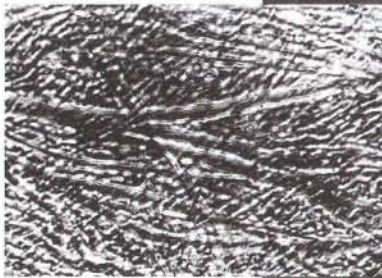
moeidheid is in dat geval ook een andere. De ophoping van melkzuur in de spiervezel werkt remmend op het verloop van de glycolyse en dus ook op de snelheid waarmee ATP beschikbaar komt. Dat kan leiden tot een melkzuurvergiftiging, die gepaard gaat met spierkramp, een grote vermoeidheid, pijn in de buik en spijsverteringsproblemen. Maar het melkzuur zelf is geen beperkende factor voor de spierarbeid. Integendeel, volgens de huidige theorieën zou deze verbinding een goede grondstof voor de energievoorziening vormen. Californische onderzoekers hebben de afgelopen jaren inderdaad aangetoond dat het melkzuur

dat afkomstig is van spiercellen met een hoofdzakelijk anaëroob metabolisme (de snelle, witte vezels) ter plekke of in andere spieren van het lichaam zou kunnen worden opgenomen en gebruikt door aërobe vezels (de langzame vezels, maar ook de hartcellen).

We moeten de oorsprong van de vermoeidheid dus elders zoeken. Tijdens de genoemde vormen van inspanning constateren we een toename van de ammoniakconcentratie in het bloed. De ammoniak is afkomstig van de afbraak van eiwitten. Hij is vooral toxisch voor het centrale zenuwstelsel. Een andere mogelijke verklaring volgt uit de ontdekking van en-



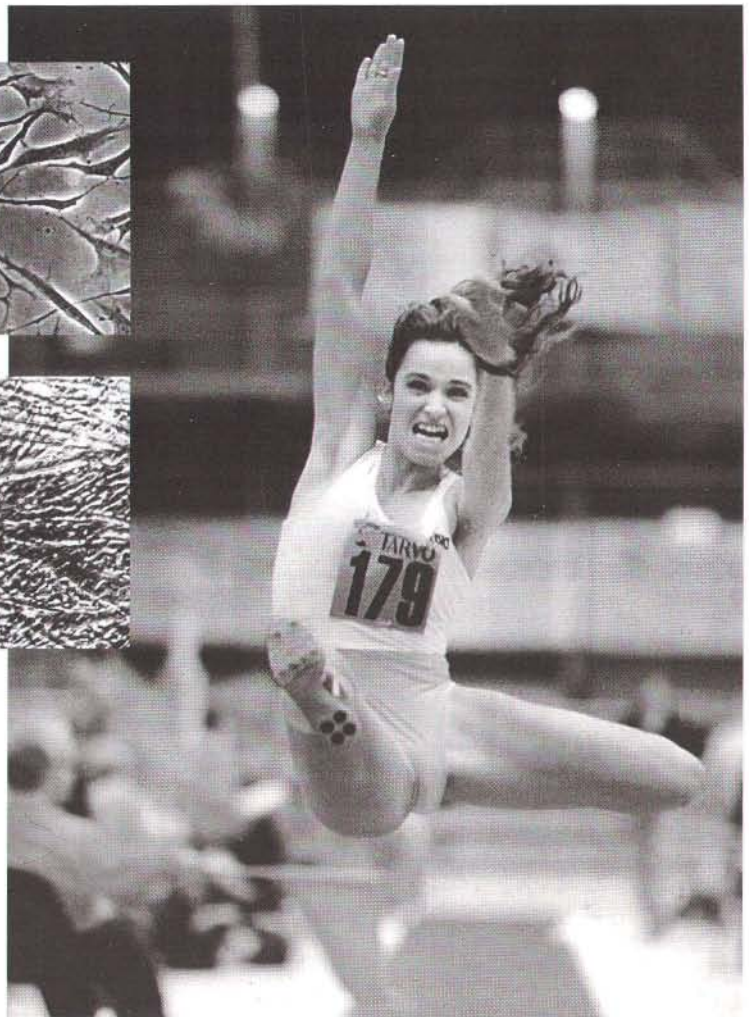
9a



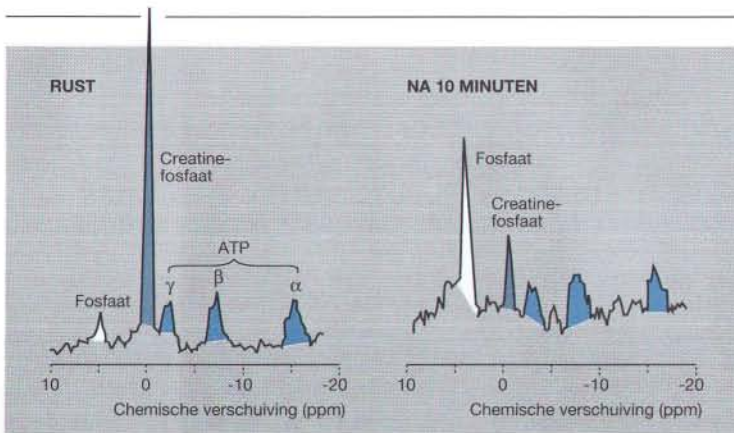
9b

9. Bij het onderzoek aan spierweefsel maakt men ook gebruik van celcultures. De onontwikkelde myoblasten (a) rangschikken zich en fuseren door training, waarbij myofibrillen ontstaan (b).

10. Topsporters gaan tot het uiterste en proberen hun grenzen te verleggen. Bij een korte, grote inspanning, is de energie vooral afkomstig van anaërobe processen, zoals de omzetting van creatinefosfaat en de glycolyse.



10



11. Met ^{31}P -NMR kan men meten in welke gebonden of vrije toestand fosforatomen voorkomen. In spierweefsel in rust is een grote piek waarneembaar, die overeenkomt met de fosfaatgroepen die zijn gebonden aan creatine. Ook zijn de drie fosfaatgroepen in ATP als afzonderlijke pieken waarneembaar. Na inspanning is het creatinefosfaat vrijwel geheel omgezet in creatine en fosfaat.

11

kele jaren geleden, dat de sterkte van de contractie wordt verminderd door een beperking van de stroom calciumionen in de spiervezel en door een ophoping van anorganisch fosfaat dat afkomstig is van de afbraak van ATP.

In het geval van uiterst kortdurende, grote inspanningen tenslotte, zoals tijdens verspringen of de korte sprint, wordt de duur van de contractie rechtstreeks beperkt door de vermindering van de concentraties ATP en creatinefosfaat in de spiervezels.

Ook de effecten van grote inspanning op het immuunsysteem kunnen te maken hebben met de optredende vermoeidheid van de spier. De laatste jaren hebben onderzoekers bij proefdieren aangetoond dat één periode van inspanning tijdelijke veranderingen kan veroorzaken in het aantal en de activiteit van diverse witte bloedcellen en van bepaalde immuniteit-bevorderende cellen in de milt. De resultaten wijzen in het algemeen op een toename van

het aantal immuuncellen in het bloed. Bij in-vitro-experimenten zou de werking van die cellen echter zowel verminderd als verhoogd kunnen zijn, wat de interpretatie van deze experimentele gegevens riskant maakt.

Getrainde spieren

We hebben gezien dat bij spierinspanning zowel de aërobe als de anaërobe stofwisseling een belangrijke rol speelt. De mate en de duur van de inspanning bepalen de wijze waarop spiervezels hun energie verkrijgen. Daarnaast beïnvloeden hormonen, het hart en mogelijk ook het afweersysteem de prestatie die een sporter kan leveren. Voor (top)sporters gaat het uiteindelijk om de eremedailles. Zij streven naar een maximaal prestatievermogen en proberen door training dit te bereiken. De volgende maand zal de auteur de invloed van training op de prestaties de revue laten passeren.

Dit Euro-artikel is eerder verschenen in het Franse tijdschrift *La Recherche*. Het is voor ons vertaald door mw drs C. Sykora uit Wageningen.

Literatuur

- Lysens R. Hardlooplessures - opgelopen, uitgerend. *Natuur & Techniek* 1992; 60: 11, 818-829.
Het menselijk lichaam - Een ongelooflijke machine. Maas-tricht: National geographic society/Natuur & Techniek, 1990.

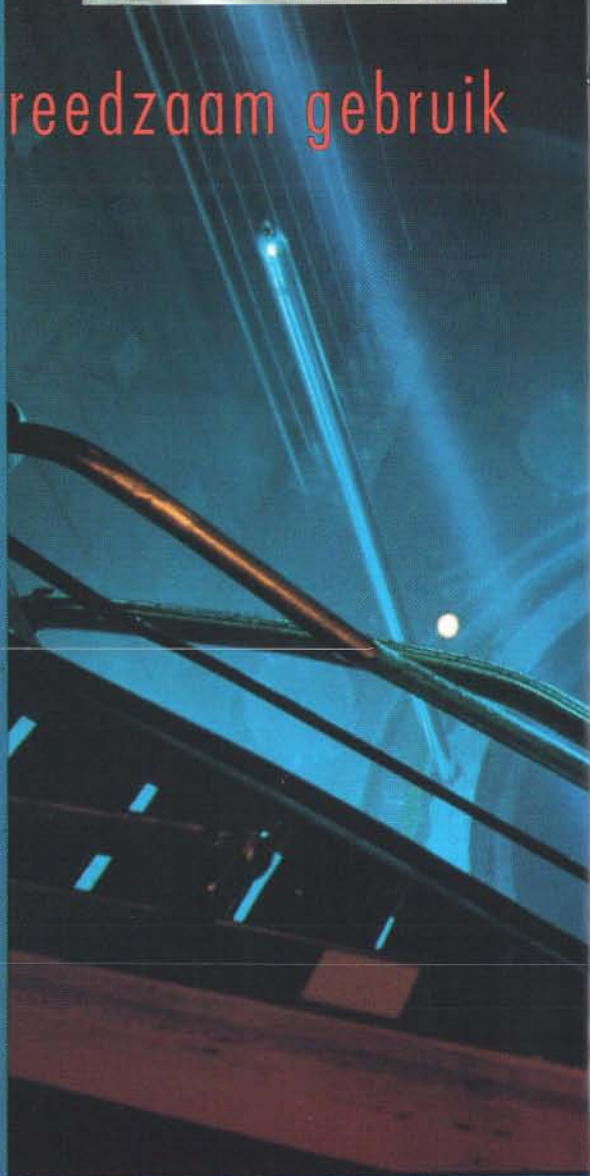
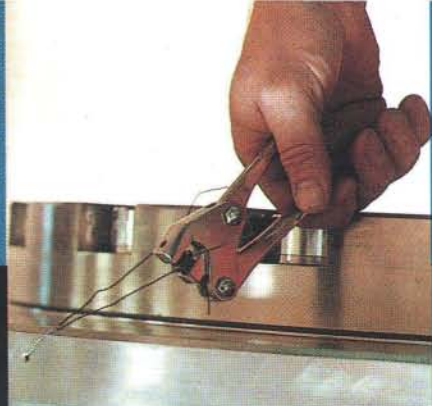
Bronvermelding illustraties

- Laboratoire de physiologie des adaptations. Faculté de médecine, Cochin-Port Royal, F: pag. 444-445, 7, 9.
Loek Zijderduin, Leiden: 1, 4.
Dr F. Brouns, Valkenburg: 3, 6.
Audiovisuele dienst, Rijksuniversiteit Limburg: 8.
Gerard Oey, Utrecht: 10.

Met de ontdekking van de kernsplijting in 1939, kwam een enorme energiebron beschikbaar, die ten goede en ten kwade kan worden aangewend.

Controle op vreedzaam gebruik

Het einde van de Tweede Wereldoorlog werd gemarkeerd door de vreselijke verwoestingen die een kernbom kan aanrichten. In 1965 hadden vijf staten kernwapens gemaakt en tot explosie gebracht. Voortgang van die ontwikkeling zou nu tot twintig à dertig kernwapenstaten hebben geleid. Een internationaal non-proliferatiebeleid met onafhankelijke, internationale inspecties heeft deze ontwikkeling echter sterk afgeremd. Vrij algemeen wordt aangenomen dat nog twee staten, Israël en Pakistan, over kernwapens kunnen beschikken. India heeft in 1974 openlijk een kernexplosief beproefd, doch haastte zich het vreedzame karakter daarvan te benadrukken. Zuid-Afrika heeft erkend zes kernwapens gemaakt en weer ontmanteld te hebben. Internationale inspecties geven de zekerheid dat de vreedzame kernenergie niet voor wapendoeleinden wordt misbruikt. Dit artikel beschrijft de technische achtergrond van die inspecties.



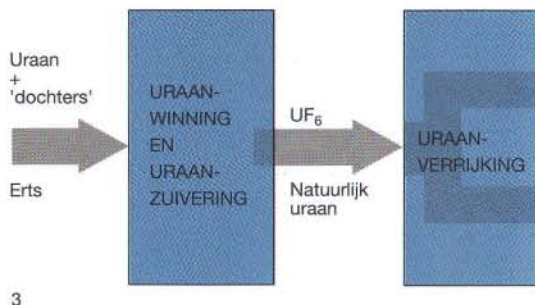
R.J.S. Harry *Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten*

De gammastraling die vrijkomt bij het radioactief verval van bestraalde splijtstof, maakt uit water elektronen vrij die een grotere snelheid hebben dan de lichtsnelheid in water. Dit veroorzaakt een mysterieus blauw licht. Het effect is vergelijkbaar met de schokgolf van een supersonisch vliegtuig. Splijtstofinspecteurs gebruiken dit zogenaamde Cherenkov-effect voor metingen in hun controleprogramma. Wanneer de splijtstof zich in een afgesloten ruimte bevindt, bijvoorbeeld een reactorvat of een transportcontainer, volstaat een zegel om te waarborgen dat er geen splijtstof wordt onttrokken.

SPLIJTSTOF BEWAKING

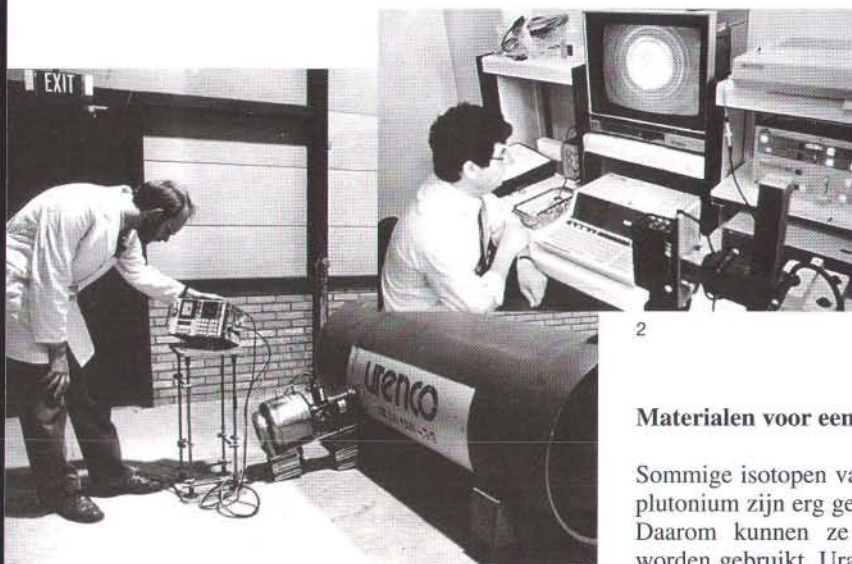
Kernenergie heeft veel vreedzame toepassingen gevonden. Nu dekken wereldwijd meer dan vierhonderd kerncentrales samen 18 procent van de elektriciteitsbehoefte. Daarbij ontstaan jaarlijks vele tientallen tonnen plutonium. Hoe kunnen we er zeker van zijn dat het plutonium uit de civiele splijtstofcyclus niet voor kernwapens wordt gebruikt?

Ongeveer honderdvijftig staten, waaronder alle vijf de kernwapenstaten, zijn toegetreden tot het Non-Proliferatie-Verdrag (NPV). Dit is het belangrijkste internationale verdrag dat de verdere verspreiding van kernwapens verhindert. De International Atomic Energy Agency (IAEA) is belast met de inspecties op het naleven van het verdrag. Door regelmatige inspecties in de niet-kernwapenstaten stelt zij vast dat al het kernmateriaal uitsluitend vreedzaam wordt gebruikt. Van de landen met belangrijke nucleaire activiteiten zijn tot nog toe alleen India, Israël en Pakistan niet tot het NPV toegetreden. De nieuwe, onafhankelijke staten in het voormalige Oostblok zijn toegetreden of zullen dat binnenkort doen.



3

bekende nucleaire activiteiten. Hoewel ook Irak zich officieel aan alle bepalingen van het NPV had onderworpen, deed het meer dan tien jaar lang geheime pogingen een kernwapen te bemachtigen. De onthulling van het veelomvattende kernwapen-programma van Irak gaf een extra aanzet tot een verdere verscherping van de internationale non-proliferatieregelingen. Noord-Korea heeft nu om politieke redenen besloten het NPV op te zeggen. Zouden de IAEA-inspecteurs er teveel kunnen ontdekken?



2

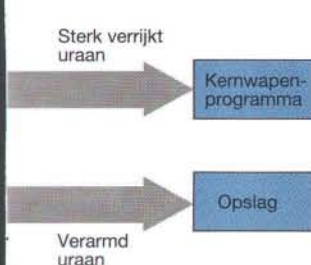
1 en 2. Euratom- en IAEA-inspecteurs beschikken over geavanceerde technische hulpmiddelen, zoals een gevoelige gammadetector (1) om de verrijking van UF_6 te meten. Elk zegel (2) dat de inspecteurs aanbrengen, draagt een unieke identiteit. Jaarlijks worden op het IAEA-bureau 25 000 verbroken zegels met behulp van video-apparaatuur vergeleken met archiefgegevens.

1

Een uniek systeem van internationale inspecties die bekendstaan als *splijtstofbewaking of safeguards*, draagt bij tot het vertrouwen dat het verdrag wordt gerespecteerd voor alle

Materialen voor een kernwapen

Sommige isotopen van de elementen uraan en plutonium zijn erg geschikt voor kernsplijting. Daarom kunnen ze voor een atoomwapen worden gebruikt. Uraan (U) wordt uit erts gewonnen. Voor het gangbare gebruik in kernwapens is het noodzakelijk het gehalte van de isotoop uraan-235 te verhogen van 0,7 naar meer dan negentig procent. Voor het maken van een kernbom is minimaal ongeveer 25 kilogram uraan-235 nodig. Wie de beschikking



3 en 4. De verrijkingsroute (3) voor de fabricage van kernwapens maakt gebruik van een fysisch verrijkingsproces dat geavanceerde technologie vereist. De plutoniumroute (4) maakt gebruik van een reactor om Pu te vormen. De chemische opwerking van het Pu vergt een degelijke afscherming vanwege de hoge radioactiviteit van de splijtingsproducten.

heeft over zeer geavanceerde technieken moet met minder materiaal of met lager verrijkt uraan een kernbom kunnen maken. De verrijkingsgraad van uraan voor civiel gebruik in lichtwaterreactoren, bedraagt minder dan vijf procent. Met dat laagverrijkt uraan is het fysisch onmogelijk een bom te maken.

Plutonium (Pu) is een kunstmatig element, dat ontstaat door neutronenbestraling van uraan-238, de isotoop die voor 99,27% het natuurlijk uraan vormt. In opwerkingsfabrieken wordt plutonium uit bestraalde splijtstof afgescheiden. Voor het maken van een kernwapen is ongeveer acht kilogram plutonium nodig – en een geavanceerde explosieventechniek.

In kerncentrales met lichtwaterreactoren draagt splijting van het gevormde plutonium fors bij aan de energieproductie. Door voortgezette neutronenvangst ontstaan uit het voor wapens bruikbare plutonium-239, zwaardere, onbruikbare isotopen. Voor de productie van plutonium voor kernwapens moeten dan ook speciale, korte bestralingen worden uitgevoerd, die niet passen in de normale bedrijfsvoering van een kerncentrale.

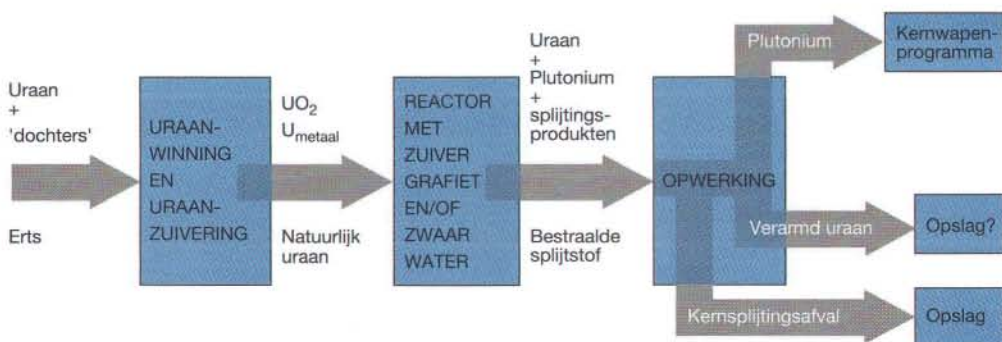
Hoe krijgt een staat een kernbom?

Er zijn twee routes in gebruik voor de productie van kernmateriaal voor een kernwapen (afb. 3 en 4). Een route is gericht op het verkrijgen van uraan dat sterk is verrijkt aan isotoop 235. Daarvoor is een technisch geavanceerde, dus dure, verrijkingstechnologie nodig. Deze technologie is altijd geheimgehouden door de staten die erover beschikken.

De andere route beoogt het maken van plutonium door neutronenbestraling van uraan-238 met een sterke neutronenbron. Zo'n sterke bron is altijd een kernreactor, die ruim een miljoen maal meer neutronen kan produceren dan de neutronenbronnen die zijn gebaseerd op kernreacties met geladen deeltjes. Bovendien is voor deze route een kleine opwerkingsfabriek nodig om het plutonium van het uraan en de sterk radioactieve splijtingsproducten te scheiden. De technologische kennis voor de plutoniumroute is vrij beschikbaar. De totale kosten zijn ongeveer een factor honderd lager dan die voor de uraanverrijkingsroute, maar de noodzakelijke installaties kunnen moeilijker geheim worden gehouden.

Een minder voor de hand liggende mogelijkheid is het bestralen van thorium met neutronen, om aldus de isotoop 233 van uraan te vormen. Ook daarmee kan een kernexplosief worden gemaakt. Maar om voldoende neutronen te maken is weer een kernreactor nodig die in eerste instantie met uraan-235 werkt. Door voortgezette neutronenbestraling kunnen nog meer splijtbare, kunstmatige isotopen ontstaan. Toepassing van deze isotopen voor een kernwapen is nu nog erg hypothetisch.

Ook in de civiele splijtstofcyclus van onder-



zoeksreactoren en kerncentrales, komen verrijking, opwerking en behandeling van afgescheiden plutonium (en in een enkel geval uraan-233) voor. Toch onderscheidt deze civiele toepassing van 'gevoelige technologie' zich op essentiële punten van een kernwapentoepassing. Uraanverrijking voor de huidige lichtwaterreactoren is beperkt tot maximaal vijf procent. Het in deze reactoren gevormde plutonium bestaat bovendien voor enkele tientallen procenten uit isotopen met een atoomgewicht boven de 239, die het minder geschikt maken voor een kernwapen.

Ondanks een historische verwevenheid, is er nu een duidelijk onderscheid tussen de civiele en de wapengerichte toepassingen van nucleaire technologie. Bovendien is voor het maken van kernwapens een niet te onderschatten hoeveelheid specifieke kernwapentechnologie nodig. Het verwerven van de splijfstof voor een kernwapen levert echter de meeste problemen. Daarom concentreert de internationale controle op het vreedzame gebruik van de kernenergie zich op uraan, plutonium en thorium, met de meeste aandacht voor sterk verrijkt uraan en plutonium, omdat die twee stoffen het meest geschikt zijn voor gebruik in een kernwapen.

Splijfstofcontrole

Vanaf de oprichting van de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie (Euratom) heeft de Europese Commissie grote bevoegdheden gekregen. Zo is de Commissie juridisch eigenaar van alle splijfstoffen in de lidstaten. De gebruikers moeten officieel aangeven waar de splijfstof voor nodig is. De Commissie mag altijd inspecteurs zenden om te controleren of de splijfstof correct wordt gebruikt, uitgezonderd de kernwapen-programma's van Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk.

Een staat die voor 1 januari 1967 een kernexplosief heeft gemaakt en dat heeft laten exploderen, is volgens het NPV een kernwapenstaat. De niet-kernwapenstaten die toetreden verklaren geen kernwapen te zullen verwerven. Om dat aan te tonen aanvaarden zij IAEA-inspecties op al hun nucleaire activiteiten. Daartoe worden alle nucleaire activiteiten, alle splijfstoffen en alle veranderingen regelmatig bij de IAEA aangemeld. Tenminste eenmaal per jaar wordt de splijstofinventaris opgemaakt en gecontroleerd. Splijfstof die gedurende langere tijd opgesloten zal zitten, bijvoorbeeld in splijstofbundels, wordt onderworpen aan *insluiting en toezicht*: afgesloten

5. Bij de Golfoorlog raakte deze door de Russen geleverde, Iraakse kerncentrale zwaar beschadigd. De IAEA-inspecties die namens de Verenigde Naties op de oorlog volgden, brachten de ware bedoeling van het Iraakse kernenergieprogramma – een kernwapen bemachtigen – aan het licht.

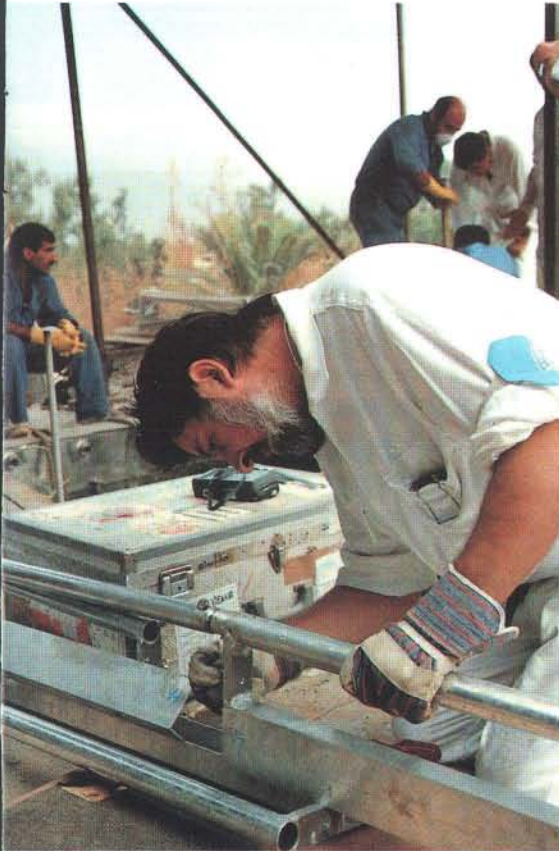


6. Een inspecteur verricht werkzaamheden om de hoeveelheid splijtstoffen in een Iraakse installatie te kunnen vaststellen.

7. Met behulp van een elektrisch lasapparaat worden onderdelen van een Iraakse verrijkingsinstallatie onklaar gemaakt.

ruimten worden verzegeld, of er wordt een continue camerabewaking en registratie toegepast.

Aan de meldingen over de splijtstof liggen metingen ten grondslag. Nu zullen in de splijtstofboekhouding altijd kleine verschillen optreden ten gevolge van meetonauwkeurigheden of opgetreden verliezen. Het optredende verschil wordt het onboekbaar materiaal genoemd, het *Material Unaccounted For*, ofwel MUF. Het is het boekhoudkundig instrument



6



7

om de boekhouding te controleren. Voor de bedrijfsvoering en bij inspecties wordt nagegaan of de verschillen inderdaad acceptabel zijn. In een open samenleving, zoals de Britse, worden de MUF-waarden van de civiele cyclus jaarlijks gepubliceerd. Het is voor de inspecteurs uiteraard zaak de normale verschillen te onderscheiden van echte onttrekkingen.

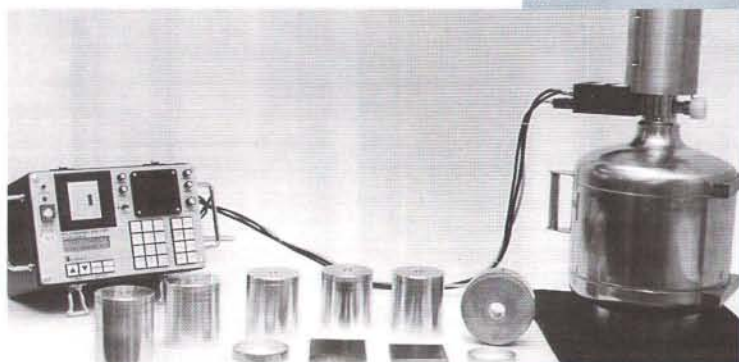
Bij de inspecties wordt een aantal metingen aan de hoeveelheid of samenstelling van de splijtstof in aanwezigheid van een inspecteur herhaald en worden monsters genomen. De inspecteur is bevoegd de ijking van de metingen te controleren. De onafhankelijke metingen, gecombineerd met informatie uit aanvullende maatregelen als insluiting en toezicht, geven de zekerheid dat onttrekkingen van materiaal voor een kernwapen niet onopgemerkt zullen blijven. De meldingen van de staat en de verificatie van de splijtstofboekhouding vormen samen de ruggegraat van deze internationale controle.



Technologie en installaties

Zevenentwintig belangrijke leverancierstaten van nucleaire technologie hebben de *Nuclear Suppliers Guidelines* in hun beleid opgenomen. Zij eisen sinds 1992 bij export van nucleaire technologie, apparatuur en installaties *full scope safeguards* in de ontvangende staat. Dat betekent IAEA-inspecties zoals onder het NPV. Ook gelden de exportbeperkingen nu voor de zogenaamde *dual-use*-goederen, die nodig kunnen zijn voor een nucleair programma, maar die ook andere toepassingen kennen. Bovendien eisen de leveranciers beveiliging tegen diefstal en sabotage, volgens de internationale aanbevelingen van de IAEA.

Uit de documenten die inspecteurs na de



I-1

Golfoorlog in Irak hebben gevonden, bleek overduidelijk dat de exportbeperkingen weliswaar niet waterdicht waren, maar dat het Iraakse kernwapenprogramma er wel aanzienlijk door werd gehandicapt. De laatste jaren is in vele landen de exportcontrole verscherpt.

Splijfstofbewaking en de uraancycclus

Alle kernreactoren zijn afhankelijk van uraan. Sommige typen werken met natuurlijk uraan, maar de meeste kerncentrales werken met licht verrijkt uraan, terwijl in bepaalde onderzoeksreactoren en kernonderzeeërs sterk verrijkt uraan wordt gebruikt. Het in snelle reactoren te versplijten plutonium is uit uraan ontstaan. Ook is het mogelijk een splijtbaar

Meetmethoden

De traditionele chemische analyse van het gehalte aan uraan en plutonium van de splijststoffen en de massa-spectrometrische analyse van uraan en plutonium, leveren meestal de meest nauwkeurige gegevens voor materiaalboekhouding en commerciële transacties. Voor de splijststofbewaking moeten echter aparte monsters worden genomen in verband met onafhankelijke analyse, met bijkomende nadelen. Zo moeten de radioactieve monsters naar onafhankelijke laboratoria worden getransporteerd, ontstaat er extra radioactief afval en komen de meetresultaten vaak pas weken later beschikbaar.

Deze nadelen kunnen worden vermeden door het verrichten van niet-destructieve metingen.

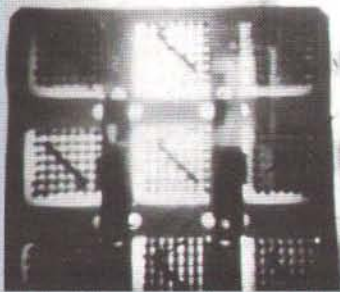


I-2

De natuurlijke straling van de splijststoffen, en de mogelijkheid ze met neutronen uit een externe neutronenbron tot splijting te brengen, maken een breed scala van niet-destructieve metingen mogelijk. De meetresultaten zijn vrijwel direct beschikbaar en bij een afwijkend resultaat kan de meting onmiddellijk worden herhaald.

Aan gereed produkt, zoals splijststofbundels, kan uitsluitend niet-destructief worden gemeten. Er zijn juist ten behoeve van de splijststofbewaking veel nieuwe niet-destructieve meettechnie-

INTERMEZZO



I-3

I-3. Bestraalde splijfstofbundels hebben nog jarenlang een hoge radioactiviteit ten gevolge van de gevormde splijtingsprodukten. Bij opslag onder water wordt deze herkenbaar door het Cherenkov-effect. Met nachtopstiek kan het Cherenkov-licht zichtbaar worden gemaakt om visueel te inspecteren of alle bestraalde staven nog in de bundel aanwezig zijn. Een inactieve 'dummy' zou geen licht geven.



I-1. Om analyses te vergelijken zijn gecertificeerde referentiematerialen nodig. Een Europees-Amerikaans samenwerkingsverband vervaardigde vijf standaarden voor metingen van de verrijkingsgraad. De laagste ^{235}U -verhouding bedraagt $0,3166 \pm 0,0002\%$ en de hoogste $4,4623 \pm 0,0032\%$. De foto toont de standaarden, links een veelkanaalsanalysator en rechts een draagbare germaniumdetector.

I-2. Een door ECN ontwikkelde methode maakt de meting van de verrijkingsgraad van UF_6 in een procespijp mogelijk. De detector op de afbeelding is op de pijpwand gericht. Het resultaat van deze meting wordt gebruikt om een tweede, directe meting van het UF_6 -gas in de pijp te corrigeren voor de storende invloed van de uraanafzetting op de pijpwand.

ken ontwikkeld. Het zijn meestal relatieve metingen, doordat nauwkeurige nucleaire standaardgegevens over de te meten straling ontbreken. Er is behoefte aan nauwkeurige kalibratiebronnen die fysiek zo goed mogelijk overeenkomen met de te meten objecten, zodat minder nauwkeurige correctiefactoren kunnen worden vermeden.

uraanisotoop te vormen uit het ruim beschikbare element thorium, maar daarvoor is een werkende reactor als neutronenbron nodig.

In de volgende paragrafen zal daarom de splijfstofbewaking worden beschreven aan de hand van de gang van het uraan door de splijststofcyclus. De inspecties richten zich op kritische punten in de cyclus. Het eerste deel van de cyclus loopt van ertswinning, via conversie en eventuele verrijking tot de fabricage van splijststofbundels voor het gebruik in de reactoren van de kerncentrales. De gebruikte splijststofbundels worden vervolgens opgewerkt door de splijtingsprodukten te verwijderen en het hergebruik van de gezuiverde splijststoffen uraan en plutonium mogelijk te maken. De strategische waarde van de splijststoffen voor het maken van een kernwapen is bepalend voor de intensiteit van de inspecties.

Winning en verrijking

Uraan komt in vele mineralen voor. De concentratie varieert van fracties van een procent (bijvoorbeeld in gouderts, uraan is een bijproduct van de goudwinning) tot vele tientallen procenten. Bij de mijn vindt in het algemeen een eerste concentratie van het uraan plaats. Het uraanconcentraat dat de mijn verlaat, is het beginpunt van de Euratom-controle. Het is de grondstof voor de fabricage van splijststof voor reactoren, die bestaat uit gesinterde tabletten van uraanoxide, of voor de omzetting

8. Het vreedzame gebruik van splijtstoffen beperkt zich hoofdzakelijk tot de productie van elektriciteit, hoewel in speciale reactoren ook bestralingen plaatsvinden voor wetenschappelijke, medische en technische toepassingen.



8

in uraanhexafluoride dat wordt gebruikt in de verrijkingsindustrie. Het zuivere uraanoxide en -hexafluoride vormen het beginpunt voor de IAEA-splijtstofbewaking. Omdat het uraan nog vele stappen moet doorlopen voordat het geschikt zou zijn voor een kernwapen, bestaat de splijtstofbewaking in dit deel van de splijtstofcyclus uit regelmatige rapportage over productie en gebruik en een enkele controle per jaar.

In de verrijkingsinstallaties wordt het natuurlijke gehalte van isotoop 235 in uraan verhoogd van 0,7% tot ongeveer drie procent, voor gebruik in de meest voorkomende lichtwaterreactoren. Naast de jaarlijkse inventarisatie wordt in de loop van het jaar regelmatig de produktie geïnspecteerd. Het aantal inspecties hangt af van de capaciteit van de installatie. Voor de ultracentrifugeverrijkingsinstallaties zoals die van Urenco in Almelo, kreeg bij het tot stand komen van de inspectieregeling de geheimhouding van de gevoelige informatie over de verrijkingstechnologie zorgvuldige aandacht, zowel vanuit overwegingen van concurrentie als van proliferatie.

Er is met de toentertijd bekende staten met ultracentrifugeverrijkingstechnologie afgesproken dat in alle hallen met centrifuges on-aangekondigde inspecties mogen plaatsvinden. Aangezien de inspecties aantonen dat er geen sterk verrijkt uraan is gemaakt, kan voor de rest van de installatie worden volstaan met het inspectieschema voor licht verrijkt uraan.

9, 10 en 11. Splijtstofcontroleurs houden tijdens de produktiestappen de splijtstof nauwgezet in de gaten. Een stap is de verrijking van uraan. We zien hier een centrifuge-cascadehal (11) van Urenco te Almelo. Wanneer de splijtstof eenmaal in staven zit (afb. 9 toont de controle van gevulde staven in de splijtstofbundelfabriek FBFC te Dessel), kan de splijtstof er niet uit zonder de staaf te beschadigen. In kerncentrales (10, Dordewaard) spitst de controle zich voor gebruik toe op het intact zijn van de splijtstofbundels.



9



10

Na de omzetting van het eventueel verrijkte uraanhexafluoride in uraanoxidepoeder, worden hieruit tabletten gesinterd van ongeveer een centimeter in doorsnede en een centimeter hoog. Met deze tabletten worden zirkoniumbuizen gevuld die gasdicht worden gelast. Met roosters en eindstukken worden splijfstofbundels van 17 bij 17 staven gebouwd. Voor een drukwaterreactor bevat een splijfstofbundel, afhankelijk van de reactorspecificaties, tussen de vijfhonderd en duizend kilogram splijfstof.

Splijfstofbundels zijn ware meesterstukken van mechanische precisie. Nadat de splijfstof in splijfstofbundels is opgesloten, treedt een periode van vele jaren in, waarin de integriteit en de identiteit van de splijfstofbundel een waarborg vormen voor het onaangetast blijven

van de splijfstof in elke bundel. Apparaten voor de niet-destructieve meting van de verrijking van de splijfstof bewijzen hun waarde bij de controle in deze fase van de splijstofcyclus. Een destructieve bemonstering is immers onacceptabel gezien de hoge commerciële waarde van de splijstofbundels en de betrouwbare werking ervan in de reactor.

Reactoren

Bij de splijting van een uraan- of plutonium-atoom komt ongeveer vijftig miljoen maal meer energie vrij dan bij de verbranding van een koolstofatoom. Bij centrales die conventionele brandstoffen gebruiken, moet de aan- en afvoer van brandstof en verbrandingspro-

dukten continu worden verzorgd. Bij een kerncentrale worden de splijstofbundels in een reactorkern bij elkaar gezet. De reactorkern staat in een afgesloten reactorvat waar regelstaven de energieopwekking via het splijtingsproces regelen. Koelwater dat door de reactorkern stroomt, zorgt voor de afvoer van de opgewekte warmte gedurende een onafgebroken periode

van ongeveer een jaar. Zolang de splijstofbundels zitten opgesloten in het door het inspectoraat verzegelde reactorvat, is onttrekking van de splijstof onmogelijk. Na een jaar zijn er in de splijstof zoveel splijtingsproducten gevormd, dat de bundels verplaatst moeten worden en een aantal splijstofbundels moet worden vervast. De gebruikte splijstofbundels verblijven gedurende een afkoelperiode, waarin de radioactiviteit van de splijtingsproducten relatief snel afneemt, in een opslagbassin bij de reactor.

Tijdens de bestraling in de reactor ontstaat plutonium. Deze potentiële grondstof voor kernwapens is voor de inspectoren de reden voor een intensievere controle dan op onbestraalde splijstof. Die vindt bij bestraalde



11

splijtstof niet, zoals bij onbestraalde, eenmaal per jaar plaats, maar minstens eenmaal per kwartaal. In recente discussies over de optimalisering van de splijtstofbewaking is betoogd, dat deze inspecties niet zo vaak nodig zijn in staten die niet beschikken over een opwerkingsinstallatie om het plutonium af te scheiden.

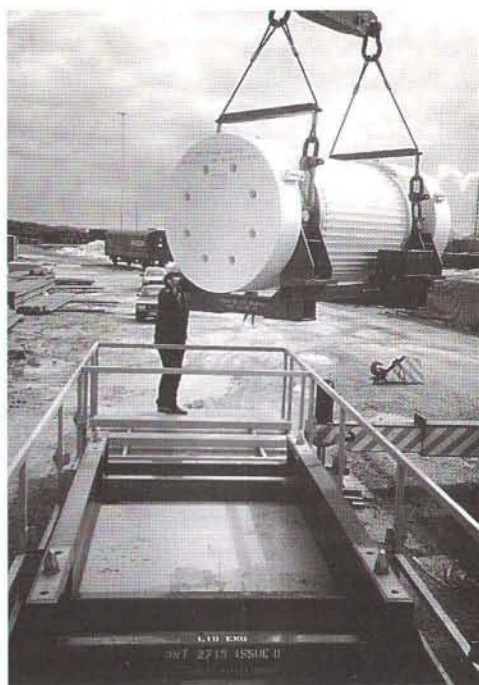
Na de afkoelperiode worden de splijtstofbundels naar een opslagplaats of opwerkingsfabriek gebracht. De maatregelen van insluiting en toezicht zijn in principe ook nu voldoende om te garanderen dat de splijtstof onaangetast is. Daar bovenop zijn er bij opslag onder water mogelijkheden om met een Cerenkov-detector de straling van de bestraalde splijtstofbundels zichtbaar te maken. Het patroon van het Cerenkov-licht verradt of alle splijtstofstaven nog in de bundel aanwezig zijn. Ook zijn er instrumenten ontwikkeld om de straling van deze splijtstofbundels te meten en zo vast te kunnen stellen of de condities van de bestralings- en afkoelperioden correct zijn opgegeven.

Opwerking en hergebruik van splijtstoffen

In de opwerkingsfabriek wordt de bestraalde splijtstof via chemische bewerkingen ontdaan van splijtingsproducten. Uraan en plutonium worden afzonderlijk afgescheiden. Ook hier is het plutonium voor de splijtstofbewaking een reden om de opwerkingsfabrieken nauwgezet en voortdurend te verifiëren.

Bij de nieuwe, grote opwerkingsinstallaties van La Hague in Frankrijk en Thorp in het Engelse Sellafield, is veel aandacht besteed aan de correcte bepaling van de hoeveelheden splijtstof en de mogelijkheden van splijtstofbewaking. Bij een totale plutoniumproductie van ongeveer tien ton per jaar is er zelfs voor de hypothetische onttrekking van slechts enkele kilogrammen plutonium nog een aanvaardbare kans op ontdekking.

Het uit gebruikte splijtstof teruggewonnen uraan kan opnieuw worden omgezet in UF_6 voor herverrijking, terwijl het plutonium gebruikt kan worden in zogenaamde *mengoxide-splijtstof* (MOX) voor lichtwaterreactoren of voor versplijting in snelle reactoren. Aangezien er plutonium voorhanden is, wordt ook de fabricage van MOX-elementen tot de gevoelige technologie gerekend. MOX-fabrieken wor-



12

den continu geïnspecteerd. Veel onderzoek is verricht ten behoeve van de splijtstofbewaking van deze installaties. Mede om het contact van mensen met de straling van het plutonium te verminderen, zijn geautomatiseerde fabrieken en opslagplaatsen gebouwd. Die stellen specifieke eisen aan de splijtstofbewaking. Daarbij zijn speciale niet-destructieve meetmethoden ingebracht voor het materiaalbeheer en de splijtstofbewaking.

MOX-splijtstofbundels voor lichtwaterreactoren en snelle reactoren vereisen een maandelijkse inspectie, gezien de hoge strategische waarde van plutonium. Bij snelle kweekreactoren worden de splijtstofbundels in het koelmiddel vloeibaar natrium geplaatst. Daarna zijn zij ontoegankelijk voor inspecties. Daarom is een correcte verificatie noodzakelijk voordat de splijtstof in het natrium gaat. Ook de punten waar de splijtstof de reactor zou kunnen verlaten, worden scherp in de gaten gehouden.

Voor onderzoeksreactoren, onderzoekscentra en andere installaties waar splijtstoffen voorhanden zijn en worden bewerkt, wordt de inspectielast bepaald naar de hoeveelheden en

de vormen waarin de splijtstof aanwezig is. Bepalend is de tijd die nodig is om splijtstof te gebruiken in een kernwapenprogramma.

Nieuwe ontwikkelingen

Met ongeveer zestig miljoen dollar bedraagt het IAEA-budget voor ruim tweeduizend inspecties per jaar nog geen twee promille van de waarde van de elektriciteit die in de geïnspiceerde nucleaire installaties is opgewekt. Desondanks wordt er voortdurend op aangedrongen dat de IAEA met minder geld doeltreffender moet werken.

In de afgelopen drie decennia is een technisch systeem van rapportage en inspecties

niek en satellietfoto's die door lidstaten ter beschikking worden gesteld. Verder is besloten dat de lidstaten de IAEA eerder over nieuwe activiteiten informeren. Ook wordt op vrijwillige basis uitvoeriger gerapporteerd over de produktie en de export van uraanconcentraat en over de export van nucleaire technologie.

Daarnaast moet de conventionele splijtstofbewaking een antwoord vinden op de moderne ontwikkelingen in de nucleaire techniek, zoals schaalvergroting en automatisering. Ook komen nieuwe technische hulpmiddelen voor de splijtstofbewaking beschikbaar. Daarmee blijft dit een technisch interessant en zich snel ontwikkelend gebied, met een grote politieke en maatschappelijke relevantie.

12. Het vervoer van de bestraalde splijtstof geschiedt in een bijzonder sterke afscherming, die aan vele spectaculaire beproevingen is onderworpen, voordat goedkeuring voor het gebruik van zo'n type transportcontainer is verleend. De degelijke insluiting geeft voor de splijtstofbewaking de garantie dat de splijtstof niet onttrokken kan zijn zolang het controlezegel nog intact is.

13. IAEA-inspecteurs kwijten zich nauwgezet van hun verantwoordelijke taak. Zij zijn degenen die feitelijk toezien op het niet verder verspreiden van kernwapens.



13

opgebouwd, dat heeft aangetoond dat vreedzame kernenergie-activiteiten niet voor wapendoeleinden werden misbruikt. Ook door ECN te Petten is in internationaal verband veel onderzoek gedaan om de inspecties technisch mogelijk te maken en te verbeteren. De aan het licht gekomen wapenactiviteiten speelden zich af in door de betreffende staat geheimgehouden projecten. De IAEA kon die bij gebrek aan informatie niet inspecteren. Om ook dit soort activiteiten te kunnen ontdekken, zal de IAEA speciale inspecties gaan uitvoeren. Daarbij zal tevens gebruik worden gemaakt van onconventionele informatiebronnen, zoals meettechnieken ontleend aan de milieutech-

Literatuur

De drie belangrijkste eisen voor een veilig gebruik van kernenergie hebben betrekking op de veiligheid van reactoren, de verwerking van radioactief afval en het niet-verspreiden van splijtstoffen voor gebruik in kernwapens. De eerste twee eisen kwamen vorig jaar al in *Natuur & Techniek* aan bod:

Dam H van. Veilige kerncentrales - Eenvoudig in de hand te houden. *Natuur & Techniek* 1992; 60: 7, 502-513.

Gruppelaar H. Actinidenrecycling - Bestemming voor gevaarlijk kernafval. *Natuur & Techniek* 1992; 60: 8, 602-613.

Bronvermelding illustraties

Photothèque EDF, Levallois-Perret, F: pag. 456-457 en 8

IAEA, Wenen: 2, 5, 6, 7, 1-3 en 13

NV FBFC International, Dessel: 9

NV Samenwerkende elektriciteits-produktiebedrijven, Arnhem: pag. 456-457 (inzet), 10 en 12



Ad Huiskes, één van de Nederlandse onderzoekers van de Antarctische kustvegetatie en auteur van dit artikel, verbruikt de veldgegevens direct aan de computer toe. Onderzoekers kunnen vaak maar kort op Antarctica verblijven; efficiënt werken is dus geboden.

KUSTVEGETATIE VAN ANTARCTICA

Antarctica is het continent van sneeuw en ijs. Wie daarbij denkt aan een zwijgende, witte wereld, komt bedrogen uit wanneer hij voet aan wal zet op dat continent. Het gekrijs van meeuwen en sterna's, het voortdurende gekwetter van de pinguïns, het fel oranje en geel van de korstmossen en het diepe groen van de mosbanken, maken de kusten van Antarctica allesbehalve stil en wit.

LEVEN IN DE MARGE

Ad Huiskes, Niek Gremmen en Hans Francke

Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Centrum voor Estuariene en Mariene Oecologie, Yerseke



Antarctica is het hoogste, het droogste en het koudste continent. Deze veelgebruikte karakterisering van het gebied is gebaseerd op gemiddelden. De Russische Antarctische basis Vostok bijvoorbeeld, ligt ver van zee op het continent op een hoogte van 3488 meter boven zeeniveau, ontvangt minder dan vijftig millimeter neerslag per jaar (omgerekend in regenwater; de neerslag komt er uitsluitend als stuifsnieuw aangewaaid) en heeft een gemiddelde jaartemperatuur van $-55,4^{\circ}\text{C}$. De voormalige Engelse basis op Deception Island (een van de South Shetland Islands) ligt daarentegen acht meter boven zeeniveau en ontvangt ongeveer negenhonderd millimeter neerslag per jaar bij een gemiddelde jaartemperatuur van $-2,8^{\circ}\text{C}$. Beide plekken zijn dus nauwelijks vergelijkbaar, net zomin als de Noorse kust klimatologisch kan worden vergeleken met het binnenland van Spanje, hoewel Noorwegen en Spanje niet eens zo ver van elkaar liggen als Vostok en Deception Island.

In tegenstelling tot wat men zou verwachten, hebben het kustgebied en de kustzee een opvallend rijk planten- en dierenleven. Ook ver in het binnenland komt nog leven voor. Nog geen vierhonderd kilometer van de geografische zuidpool groeien korstmossen op boven de sneeuw uitstekende bergtoppen (zogenamde nunataks). Vogels als de sneeuwstormvogel (*Pagodroma nivea*) en de grijze stormvogel (*Fulmarus glacioides*) kunnen honderden kilometers landinwaarts broeden.

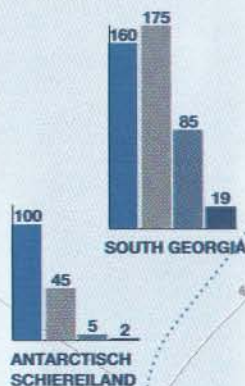
Het meeste leven komt echter voor in Antarctische kustgebieden. In dit artikel beperken wij ons tot de vegetatie van het kustgedeelte boven de waterspiegel.

Kustleven

Van al het zoete water op aarde ligt twee derde opgeslagen in de ijskap van Antarctica. Deze permanente ijskap bedekt bijna heel het continent. Slechts twee tot drie procent van het oppervlak, voornamelijk in het kustgebied, is 's zomers sneeuw- en ijsvrij.

De meeste Antarctische kusten zijn rotskusten. Op een aantal plaatsen, met name in het noordelijkste deel van het Antarctisch Schiereiland en op eilanden daar in de buurt, komen echter ook sedimentkusten voor met slib, zand of kiezel. Rots- en sedimentkusten verschillen nogal van elkaar op het gebied van de levens-

1, 2 en 3. Het Zuidpoolgebied is veel groter dan het Antarctische continent. De buitenste begrenzing van het gebied is de 10°C -juli-isotherm, die overeenkomt met de boomgrens. Daarbinnen treffen we de Antarctische convergentie aan, de grens tussen het rondstromende, koude water van de Zuidelijke Poolzee en de overige oceanen. In de winter strekt het Zuidpoolijs zich uit tot de noordgrens van het pakij, terwijl zelfs in de zomer grote gebieden aan de kust bevroren blijven. Met staafdiagrammen is weergegeven hoeveel soorten van bepaalde plantengroepen van nature op diverse plaatsen in het gebied voorkomen. De foto's tonen de Britse basis Faraday (2), van waaruit ook Nederlands onderzoek plaatsvond, en de Russische basis Vostok (3), een der koudste en droogste plekken op aarde.



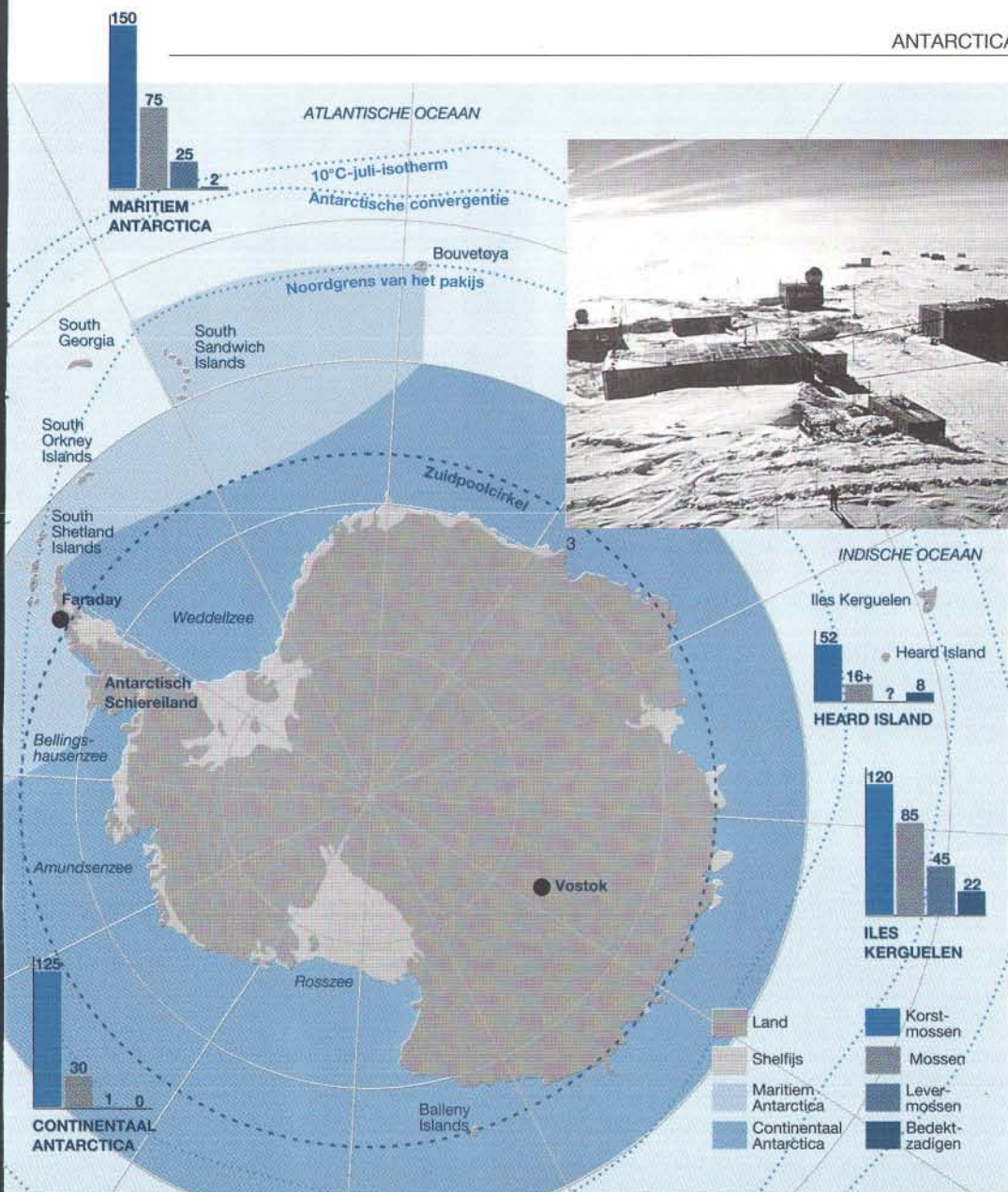
0 500 km



2

1

gemeenschappen die ze herbergen. Doordat sedimentkusten geleidelijk oplopen vanuit zee, is de golfwerking er in een brede zone van invloed. Ook stranden er nogal eens grote en kleinere ijsbergen of ijsschotsen. Hierdoor, maar vooral door de grote dynamiek van de bodem, is er van plantengroei nauwelijks sprake. Microscopisch kleine kiezelwieren en



eenjarige macroscopische wiersoorten bepalen de vegetatie.

Op de sedimentkusten kunnen boven de hoogwaterlijn dikke aanspoelselpakketten voorkomen. Deze bestaan uit de resten van ondergedoken macrowieren en worden bewoond door bacteriën, aaltjes, pissebedachtigen en andere organismen die van dood plan-

tenmateriaal leven. De afbraakprocessen in het dode materiaal ontwikkelen warmte, waardoor het aanspoelsel iets warmer is dan het sediment. Mogelijk draagt deze warmte eraan bij dat de aanspoelselgordels favoriete rustplaatsen voor bijvoorbeeld zeolifanten zijn.

De rotskusten van Antarctica herbergen een veel grotere verscheidenheid aan organismen.

Doordat de rotsen meestal steil uit zee oprijzen, is de invloed van golfwerking en van schurend ijs beperkt tot een smalle zone met vrijwel kale rots, die zich uitstrekt van enkele meters onder de gemiddelde zeespiegel tot enkele meters erboven. Boven deze zone begint de Antarctische kustvegetatie.

Plantengroei

Kenmerkend voor de plantengroei van het Antarctische continent is het ontbreken van gesloten vegetaties van hogere planten. Naast mossen vormen korstmossen de belangrijkste groep van planten (afb. 1). In de kustgebieden bestaat er een nauwe relatie

tussen de ecosystemen van het land en die van de zee. Doordat de biologische productie op het land laag is en in zee hoog, zijn de meeste dieren voor hun voedsel aangewezen op het water. Zeevogels en verschillende soorten robben zijn de belangrijkste gewervelde dieren in de kustzone. Ze rusten, ruien, broeden en brengen hun jongen groot op het land, maar zoeken

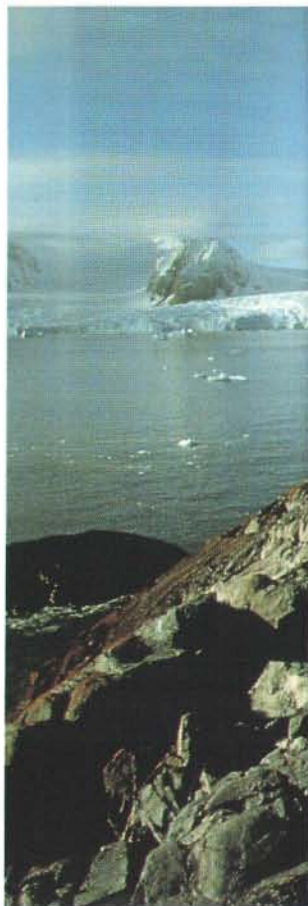
hun voedsel in zee. Via deze dieren, vooral door hun mest, vinden grote hoeveelheden nutriënten hun weg vanuit de zee naar het land. Daarnaast worden ook zout en andere mineralen in kleine druppeltjes zeewater door de wind naar het land gevoerd. Met het smeltwater spoelt een deel van deze voedingsstoffen direct weer terug naar zee, maar een ander deel komt ten goede aan de vegetatie. Uiteindelijk komt, na het afsterven van de planten, het meeste hiervan ook weer in zee terecht.

De flora in het Antarctische kustgebied bevat twee soorten zaadplanten: Antarctische smele (*Deschampsia antarctica*), een grassoort, en Antarctisch parelkruid (*Colobanthus quitensis*), een verwant van het vetmuur. Het



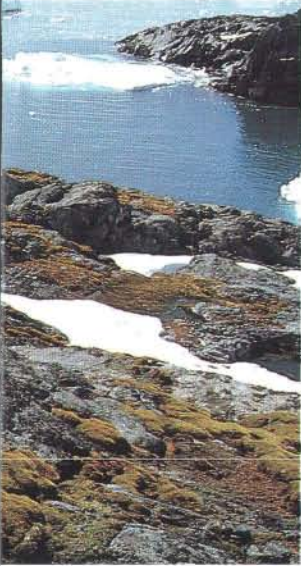
4

5



6

4 en 5. Een skua groeit op aan de rand van een mosbank. Het nest bevindt zich middenin een pol van het gras Antarctische smele (*Deschampsia antarctica*), één van de twee zaadplanten, die in Marietiem Antarctica voorkomen.



6. De rotskusten van het Antarctisch Schiereiland zijn opvallend rijk aan vegetatie. Deze vegetatie bestaat in de drogere gebieden vooral uit korstmossen. In vochtiger streken komen ook mosbanken voor.

gras komt voor in pollen, maar kan ook mini-graslandjes van enkele vierkante meters vormen. Het parelkruid vormt compacte kussens tot ongeveer 25 centimeter doorsnede. Antarcische smeie lijkt een voorkeur voor kalkrijke substraten aan de dag te leggen. De soort wordt vaak gevonden op plaatsen waar Dominicaner meeuwen schelpen van de Antarcische schaalhoorn achterlaten.

Mossen kunnen op Antarctica grote banken vormen, die bovenop aangroeien en aan de onderkant afsterven. De diepere lagen van de mosbanken fossiliseren waardoor tot twee meter dikke veenpakketten kunnen ontstaan. Mosvegetaties komen in het kustgebied voor op plaatsen die relatief vochtig zijn, doordat er veel neerslag valt, het vaak mistig is of er een regelmatige aanvoer van smeltwater is.



Korstmossen

Hoewel de hogere planten op sommige plekken wat meer in het oog springen, domineren in het algemeen korstmossen de kustvegetatie van het zuidpoolcontinent (afb. 6). De factoren die de samenstelling van deze vegetatie bepalen, zijn slechts globaal bekend. Vandaar dat toen Nederland in 1988 een Antarcticaans onderzoeksprogramma lanceerde, het in kustonderzoek gespecialiseerde Centrum voor Estuariene en Mariene Oecologie (destijds Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek genaamd) zich richtte op de ecologie van de kustvegetatie en dan met name op de korstmossen. Het onderzoek werd uitgevoerd in een gebied aan de westkant van het Antarcticaans Schiereiland, op de Argentine Islands en hun omgeving. Een grondige inventarisatie van de korstmosgemeenschappen in het kustgebied vormde een belangrijk onderdeel van dit onderzoek.

Een korstmos is een symbiose van een schimmel en een alg. De alg, de *fykobiont*, zorgt voor de fotosynthese en dus de aanmaak van organische stof, waar de schimmel, de *mycobiont*, van leeft. De *mycobiont* lijkt de alg bescherming te bieden tegen hoge temperaturen, uitdroging en beschadiging en levert de alg mogelijk mineralen.

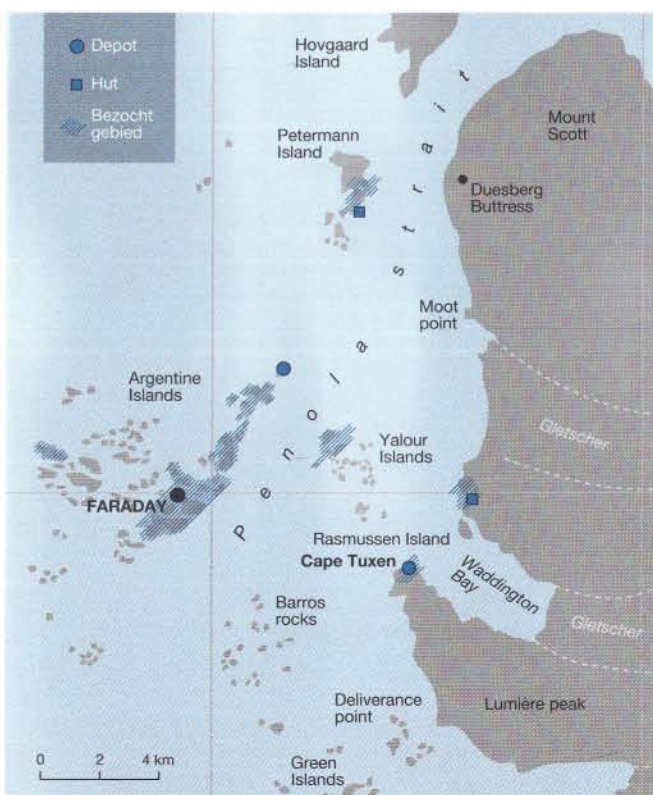
De symbiose is zo innig dat deze ook tot uitdrukking komt in een vastliggende morfologie. Korstmossen of *lichenen* kunnen worden gedetermineerd als waren het afzonderlijke plantesoorten. De symbiose van een bepaalde algensoort met een bepaalde schimmelsoort heeft namelijk bijna altijd eenzelfde uiterlijke verschijningsvorm.

De korstmosvegetatie in het kustgebied valt in twee typen te verdelen: het *Mastodia*-type, waar vooral de invloed van de zee belangrijk is, en het *Usnea*-type, dat veel minder onder invloed van de zee staat. De invloed van de zee komt tot uitdrukking in het zoutgehalte,



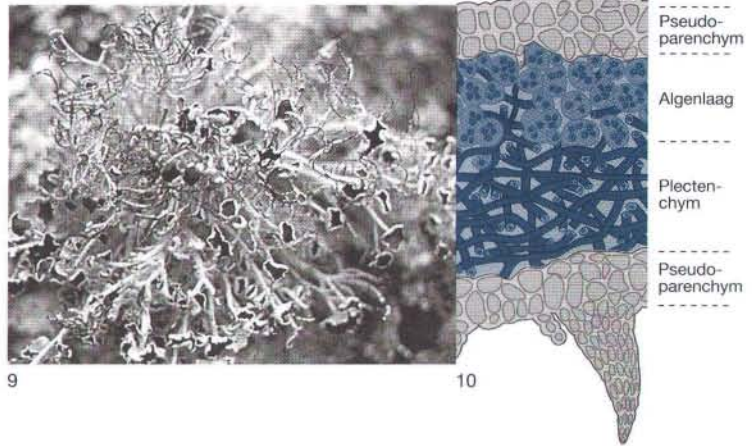
7

7 en 8. De Britse basis Faraday op de Argentine Islands was de uitvalsbasis van de Nederlandse onderzoekers die de vegetatie van de aangegeven gebieden inventariseerden. Korstmossen domineren de kustvegetaties van het Antarcticaans Schiereiland.



8

9 en 10. Korstmossen, zoals deze *Usnea*-soort, zijn een symbiose van een schimmel en een alg. Ze vertonen een gelaagde opbouw. De structuur van een korstmos wordt hoofdzakelijk bepaald door de schimmel, die als het ware onderdak biedt aan een laag algencellen. De algen voorzien de schimmel van koolhydraten.



uitgedrukt in de chlorideconcentratie, de bemesting door zeevogels en, daaraan gekoppeld, de ammoniumconcentratie. De vegetaties van het *Mastodia*-type worden in het algemeen gevonden op rotsen die naar de zee zijn toegekeerd.

Tijdens het Nederlandse onderzoek rees de veronderstelling dat de korstmossen die in de *Mastodia*-vegetatie leven, op de een of andere manier voordeel hebben van een zilte omgeving. Om deze hypothese te testen werd het koolstofassimilatieproces van *Mastodia*, één van de kenmerkende korstmossoorten in de door de zee beïnvloede vegetatie, aan een nadere beschouwing onderworpen. In het algemeen blijkt dat zout de levensprocessen van planten, waaronder de fotosynthese, sterk kan beïnvloeden. Bij korstmossen – was de gedachte – zou dat niet anders zijn.

Grote tolerantie

De fotosynthese van korstmossen is sterk afhankelijk van een drietal factoren: de hoeveelheid licht die het korstmos ontvangt, de omgevingstemperatuur en het vochtgehalte van de plant. Deze drie factoren staan met elkaar in verband: op een zonnige dag kan de temperatuur aan het oppervlak van de rots sterk oplopen, waardoor de verdampingssnelheid zo hoog wordt, dat het vochtgehalte van het korstmos snel afneemt. Hogere planten kunnen hun verdampingssnelheid regelen met de huidmondjes in hun bladeren. Die kunnen open en dicht en zo het vochtverlies toelaten of juist binnen de perken houden. Korstmossen hebben echter geen huidmondjes en zijn

voor hun vochthuishouding volledig afhankelijk van de vochtigheid van de omgeving.

De invloed van zowel licht, temperatuur als vocht op de fotosynthesesnelheid van *Mastodia tessellata* zijn onderzocht. *Mastodia* blijkt al bij weinig licht toch optimaal te kunnen fotosynthetiseren (afb. 16a). Dit lijkt op de Zuidpoolkust, waar het aantal zonuren per jaar gering is en de korstmossen vaak met sneeuw zijn bedekt, een belangrijk voordeel. Zo profiteert *Mastodia* van al het beschikbare licht.

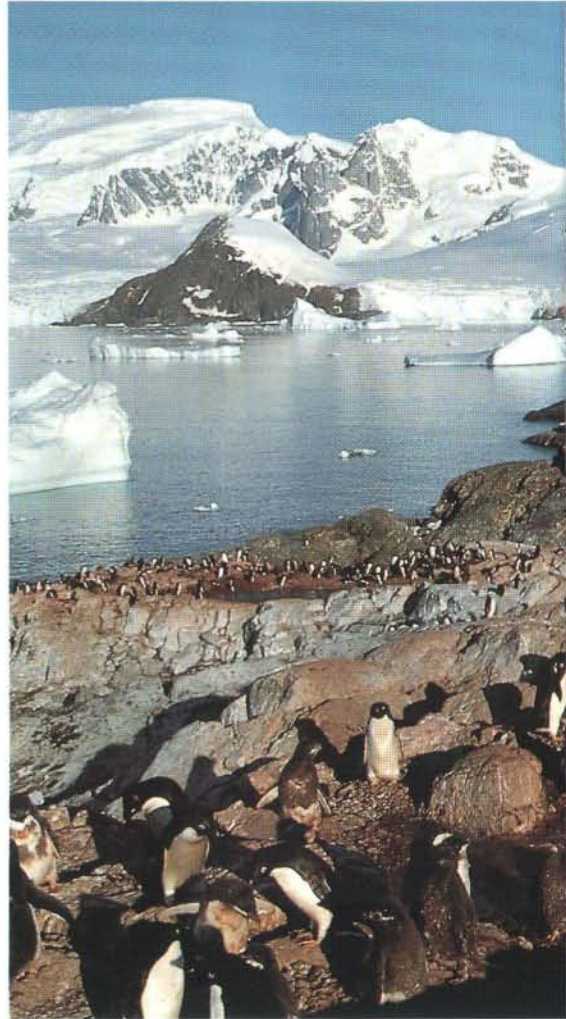
Veel belangrijker voor de overleving in het extreem koude en droge Antarctica is echter een grote tolerantie voor lage temperaturen en voor uitdroging. Antarctische korstmossen, inclusief *Mastodia*, kunnen bij temperaturen beneden het vriespunt fotosynthetiseren (afb. 16b). Hoe de korstmossen voorkomen dat hun cellen bevriezen is een nog niet opgehelderd vraagstuk. Waarschijnlijk bevatten de cellen stoffen die voor een vriespuntsverlaging zorgen, zoals suikers en bepaalde organische zuren. Het temperatuurtraject waarbinnen Antarctische korstmossen kunnen fotosynthetiseren loopt van beneden het vriespunt (waarden van -10°C zijn gemeten) tot 15 à 20°C . *Mastodia* bereikt zijn optimale fotosynthesesnelheid bij temperaturen die tussen -5 en 0°C liggen. Overigens ligt deze optimale waarde bij korstmossen die in de Negevwoeistijn leven, bij ongeveer 20°C . Korstmossen kunnen extreem lage temperaturen weerstaan, maar zijn bij barre koude niet actief. Antarctische korstmossen die enkele uren werden ondergedompeld in vloeibare stikstof (temperatuur -196°C), bleken na geleidelijke opwarming tot 4°C weer normaal te functioneren.

Water en zout

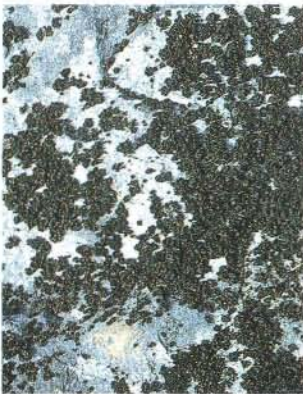
Voor het fotosyntheseprocess is het vochtgehalte van het korstmoss even belangrijk als licht en temperatuur. Over de invloed van het vochtgehalte op de snelheid van het fotosyntheseprocess is vrij veel bekend. Korstmossen nemen vocht op uit de lucht, uit neerslag en uit smeltwater. In droge perioden verliezen ze dat water echter weer even hard.

Net als bij temperatuur bestaat er ook een vochtgehalte waarbij de fotosynthesesnelheid optimaal is (afb. 16c). Een te hoog vochtgehalte vertraagt de diffusiesnelheid van koolstofdioxide van de buitenlucht naar het korstmoss. Het gas moet in dat geval namelijk eerst een hoeveelheid water in het sponsachtige korstmoss passeren, eer het de cellen bereikt. Bij een te laag vochtgehalte kan het korstmoss niet meer functioneren. Het gaat dan in een soort rusttoestand. De snelheid van het vochtverlies is voor elk korstmoss verschillend en hangt onder andere af van de ruimtelijke structuur van de plant. In streken met een droog klimaat – het klimaat van Antarctica is in dit opzicht goed te vergelijken met dat van een woestijn – blijken de meeste korstmossen slechts korte perioden actief te zijn. Bij *Mastodia* blijkt de fotosynthesesnelheid optimaal bij een vochtgehalte van drie- tot vijfmaal het drooggewicht.

13, 14 en 15. Op de kusten van het Antarctisch Schiereiland komen naast het korstmoss *Mastodia tessellata* (13) ook de alg uit dat korstmoss (*Prasiola crispa*, 15) en tussenvormen van beide (14) voor.



11



13



14

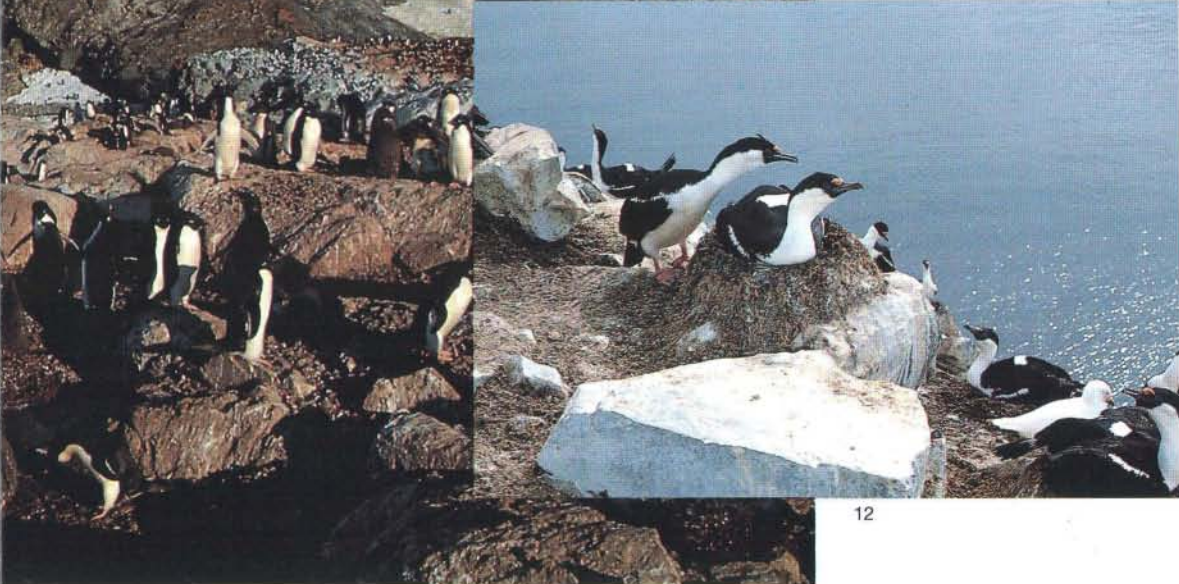


15



11 Een kolonie Adéliepinguïns op een van de Ya-lourelanden. Pinguïns halen hun voedsel uit zee, maar deponeren hun mest voor een belangrijk deel op het land. Langs deze weg heeft de zee indirect invloed op de kustvegetatie.

12. Keizeraalscholvers broeden in kleine kolonies die zich meestal op ontoegankelijke, steile rots-hellingen bevinden.



12

Mastodia is een korstmoss dat vooral in sterk door zout beïnvloede gebieden voorkomt. Wat is het effect van al dat zout op het fotosyntheseproses? Een aantal experimenten heeft daar duidelijkheid over gebracht. Allereerst blijkt zout de snelheid van de fotosynthese te vertragen (afb. 16c); een nadeel voor *Mastodia*. Dat is overigens ook bij andere planten in zoute gebieden aangetoond en dus niet zo opzienbarend. Daar staat echter tegenover dat bij *Mastodia* het optimum van de fotosynthesesnelheid in een zoutrijk milieu bij een lager vochtgehalte blijkt te liggen dan in een zoutarme omgeving. Tevens blijkt dat het vochtverlies

onder invloed van zout langzamer verloopt. *Mastodia* kan diensgevolge een veel langere periode fotosynthetiseren.

De alg in *Mastodia tessellata* heet *Prasiola crispa ssp. antarctica*. Deze algensoort komt in het Antarctische kustgebied ook vrijlevend in grote hoeveelheden voor op plaatsen waar veel mineralen aanwezig zijn, bijvoorbeeld in de buurt van pinguïnkolonies. Er blijken naast *Mastodia* en *Prasiola* ook allerlei tussenvormen van het korstmoss en de vrijlevende alg voor te komen. Soms ziet het korstmoss, dat normaal zwart tot donker olijfgroen van kleur is, er veel groener uit. Wanneer we het korst-

mos onder een microscoop bekijken, blijkt dat het aantal algcellen in zo'n geval veel groter is dan normaal. In andere gevallen zijn de uiteinden van het korstmoslichaam helder-groen van kleur. In deze uiteinden blijken dan ook geen schimmeldraden aanwezig te zijn.

Het kan zijn, dat we hier te maken hebben met een vroeg stadium van het *licheniseringsproces* van de alg, zeg maar het begin van een symbiose, waarbij de groei van de schimmel nog goed 'op gang' moet komen. Het kan echter ook zijn, dat de tussenvormen voortkomen uit de concurrentie tussen alg en schimmel. Dat de schimmel van een korstmos de alg kan gaan overheersen als er maar voldoende koolhydraten aanwezig zijn, is reeds lang bekend. Hier lijkt het er echter op dat de

16. De fotosynthesesnelheid van *Mastodia* werd onderzocht bij diverse lichtsterkten (a), temperaturen (b) en vochtgehalten (c). Vochtig houden met

zout water beperkt de fotosynthesesnelheid, maar andere experimenten wijzen uit dat een 'zout' korstmos het water veel langer vast kan houden.

Fotosynthese meten

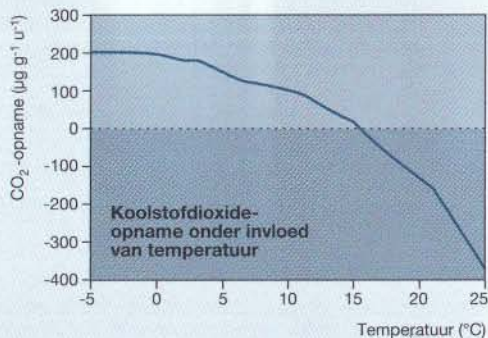
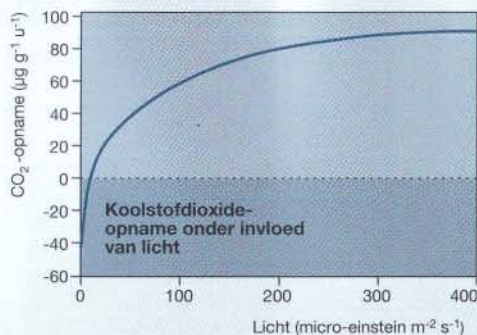


I-1

I-1. Met een draagbare fotosynthesemeter kan in het veld de fotosyn-

thesesnelheid van losgestoken korstmossen worden bepaald.

De fotosynthese van een korstmos is eigenlijk de fotosynthese van de alg, de fycobiont. De fotosynthese is op twee manieren te bepalen: door te meten hoeveel zuurstof er bij het proces vrij-

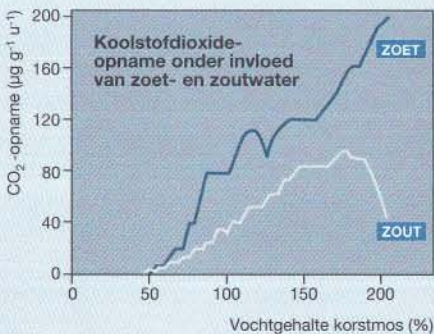


INTERMEZZO

komt of door te registreren hoeveel koolstofdioxide erbij wordt opgenomen. Bij landplanten, zoals een korstmoss, is de opgenomen hoeveelheid koolstofdioxide verreweg het eenvoudigst en meest nauwkeurig vast te stellen.

Ten behoeve van de meting wordt een stuk korstmoss in een groeikamer gebracht, waarin temperatuur, lichtinval en vochtverlies zorgvuldig worden geregistreerd. Door de groeikamer wordt een luchtstroom geleid. Het koolstofdioxidegehalte van de instromende lucht zal lager zijn dan dat van de uitstromende. Uit het verschil kan worden bepaald hoeveel koolstofdioxide het korstmoss heeft opgenomen. Aangezien de snelheid waarmee de lucht door de kamer stroomt bekend is, kan worden berekend met welke snelheid het koolstofdioxide wordt opgenomen.

De eigenlijke meting is gebaseerd op het feit dat koolstofdioxide infrarode straling absorbeert (denk aan het broeikas-effect). Hoe meer koolstofdioxide er in een gasmengsel aanwezig is, des te meer infrarode straling het absorbeert. Het mengsel wordt daarbij op een diëntengevolge neemt de druk ervan toe, evenredig met het koolstofdioxidegehalte. Van zowel de in als de uit de groeikamer stromende lucht wordt op deze wijze het koolstofdioxidegehalte bepaald. Het hangt van de constructie van het analyseapparaat af, of de drukken die horen bij de instromende of uitstromende lucht gelijktijdig of na elkaar worden gemeten.



c

alg de overhand krijgt. Dit verschijnsel is nog niet eerder aangetoond, maar het zou wel eens verantwoordelijk kunnen zijn voor de tussenvormen van *Mastodia* en *Prasiola* op juist die plaatsen waar aan mineralen geen gebrek is. Doordat er momenteel nog geen bevredigende methoden voorhanden zijn om korstmossen onder experimentele omstandigheden te kweken, is onderzoek naar de concurrentieverhouding tussen schimmel en alg erg moeilijk.

Invloed van de zee

Het onderzoek naar de ecologie van de Antarctische kustgebieden staat nog in de kinderschoenen. Er bestaat tot nu toe vooral een algemeen beeld van het gebied, maar ecologische details over de rol van de zee ontbreken veelal. Over de specifieke aanpassingen van Antarctische planten aan het leven in kustgebieden weten we nog vrijwel niets. Slechts de invloed van zout op korsmosvegetaties vormt hierop een bescheiden uitzondering. De zee brengt niet alleen zout, maar ook allerlei mineralen aan land, hetzij direct, via zeewater of door de wind meegevoerde waterdruppeltjes, hetzij indirect via de mest en andere overblijfselen van dieren. Op basis van het verband tussen de verspreiding van individuele plantesoorten en standplaatsfactoren, blijkt dat er op Antarctica planten voorkomen die zijn gebonden aan de aanvoer van mineralen vanuit de oceaan. De fysiologische mechanismen die hierbij een rol spelen, vormen een nog onontgonnen gebied.

Literatuur

- Dit is publicatie nr. 609 van het Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Centrum voor Estuariene en Mariene Oecologie, Yerseke.
- Asperges M. Korstmossen. Een gevoelige symbiose. *Natuur & Techniek* 1988; 56: 758 - 767.
- Bonner WM, Walton DWH. *Key Environments. Antarctica*. Oxford: Pergamon Press, 1985.
- Henssen A, Jahns HM. *Lichenes. Eine Einführung in die Flechtenkunde*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1974.
- Longton RE. *Biology of polar bryophytes and lichens*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- Stonehouse B. *Polar Ecology*. Glasgow: Blackie, 1989.

Bronvermelding illustraties

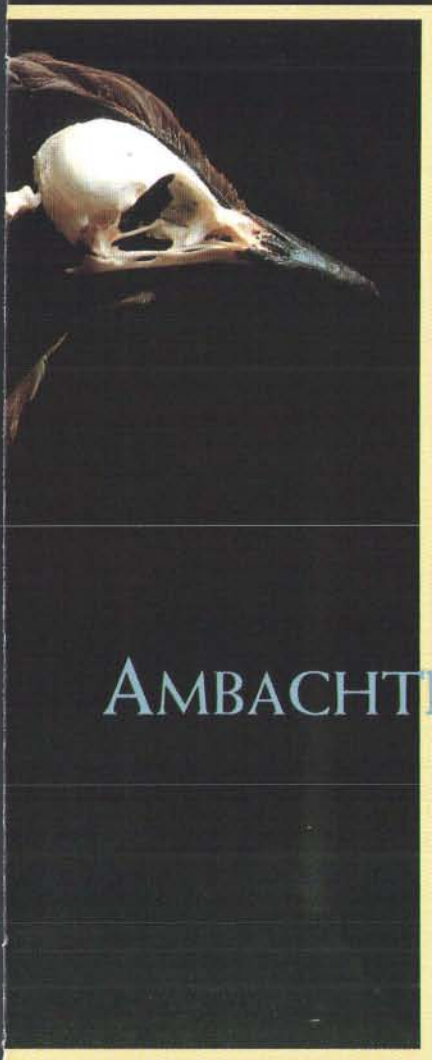
G.P. Können, KNMI, De Bilt: 3
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

Prepareren



Preparaten kunnen ons inzicht geven in de bouw van een dier. Dat is bijvoorbeeld het geval met het halfskelet van een spreeuw.

Willem J. Mulder en Aldo M. Voûte
Universiteitsmuseum Utrecht



Al heel lang tracht de mens het tot stof vergaan van materialen te beïnvloeden. Daartoe gebruikt hij processen die afwijken van de normale kringloop. Een belangrijke reden was de voedselvoorziening. Door in te grijpen in afbraakprocessen, was het mogelijk om levensmiddelen voor langere tijd te bewaren. Door balseming kon men lichamen van personen of dieren die men wilde vereren, eveneens beschermen tegen de tand des tijds. Sinds de

AMBACHTELIJK BEHOUDEN

tweede eeuw vervaardigt men anatomisch-biologische (aanvankelijk alleen dierlijke) preparaten, ten behoeve van onderzoek en onderwijs. Pas na de 16e eeuw leidde dat tot opzienbarende resultaten.

Alle levende organismen gaan eens dood en vergaan vervolgens tot 'stof'. Er zijn echter toevallige omstandigheden die dit proces ingrijpend kunnen beïnvloeden, zoals extreme kou, afsluiting van de buitenlucht of snelle uitdroging door de wind. Zo ontstonden bijvoorbeeld fossielen die veel ouder zijn dan de mensheid en, in de permafrost, de diepvrieskadavers, die duizenden jaren oud kunnen zijn. De preparateur maakt gebruik van vergelijkbare processen, maar heeft ook een scala aan moderne methoden tot zijn beschikking waarmee hij de bewaarbaarheid van dode organismen kan rekken.

Het preparateursvak heeft zich de laatste decennia ontwikkeld van een ambachtelijke virtuositeit tot een meer wetenschappelijk georiënteerd toepassen van recepten. Die recepten maken in grote mate gebruik van chemische en fysische processen. Een aantal moderne technieken die bij universiteiten en onderzoeksinstituten worden toegepast, zullen we de revue laten passeren.

Het opzetten van dieren, de taxidermie (Grieks: *tatto* = opzetten of opstellen, *derma* = huid), kent een lange geschiedenis. Door gebruik van kunststoffen is men thans in staat om bijvoorbeeld ook vissen in de meest levensechte vorm te presenteren. Kunstlichamen waarmee de huid van het dier doorgaans wordt gevuld, worden tegenwoordig meestal van polyurethaanschuim vervaardigd. Verder zijn conserveervloeistoffen ontwikkeld die vraat van insecten tegengaan en voor onszelf minder schadelijk zijn dan de vroeger gebruikelijke vloeistoffen.

Leerlooien

Een prepareermethode die reeds duizenden jaren wordt toegepast, is het looien van leer. Onze voorouders, die tienduizenden jaren geleden Europa bewoonden, gebruikten dierenhuiden om kleding, schoeisel, dekking en allerlei gebruiksvoorwerpen te maken. Vooral de jagers en vissers die tijdens de laatste ijstijd Zuid-Europa bewoonden, waren voor hun lijfsbehoud mede op dierenhuiden aangewezen. Met stenen werktuigen prepareerden zij huiden en ontdeden ze deze van vet, vlees en vliezen. Het is heel goed mogelijk dat zij de verse huiden, na het drogen in de zon of bij het vuur, behandelden met plantaardige looi-

stoffen zoals gemalen eikenbast of met urine. Zowel in de humane als in de diergeneeskunde staat of valt de vooruitgang met de toename van het inzicht in de lichaamsbouw en -functie van mens en dier. Zonder het ontleedmes stagneert dat inzicht. Omdat het tot in de Middeleeuwen vrijwel overal om religieuze redenen verboden was om het menselijk lichaam te openen, bleef het inzicht in de bouw van ons lichaam, uitzonderingen daargelaten, beperkt. Pas in de 12e eeuw komt men in Zuid-Europa tot het inzicht dat er zonder anatomie geen wezenlijke vooruitgang van de medische kennis te verwachten is. Schoorvoe-



1

tend gaat men over tot het beschikbaar stellen van lichamen van geëxecuteerde misdadigers ten behoeve van onderzoek. Een van de beroemdste anatomen uit de daaropvolgende eeuwen is Leonardo da Vinci (1452-1519).

Een probleem bij dit werk is het bederf waaraan kadavers onderhevig zijn. In eerste instantie probeert men ze te drogen of te koken. Bij de toename van praktisch chemische kennis ligt het voor de hand dat men conserverende vloeistoffen ontwikkelt en toepast bij de vervaardiging van anatomische preparaten. Daarvoor gebruikt men eerst alcohol, later terpentijn en tegen het eind van de 19e eeuw

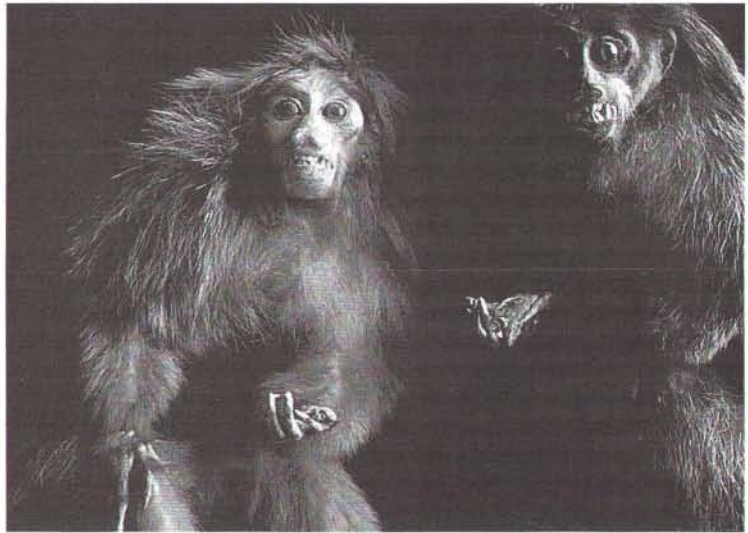


2

1. Onder zeldzame omstandigheden kunnen dierlijke resten de tand des tijds doorstaan. Dit fossiel van een dimetrodon is ongeveer 200 miljoen jaar oud.

2. De ambachtelijke technieken om vogels zoals deze bijeneter op te zetten, stammen uit de vorige eeuw. Er gaat heel wat tijd in zitten, voordat het levensechte preparaat af is.

3. Deze saki's (geslacht *Pithecia*) zijn zogenaamde pluimstaartapen uit de vochtig-hete regenwouden in Zuid-Amerika.



3

parateur een ambachtsman, die assistentie verleent bij anatomische demonstraties in het *Theatrum Anatomicum*. Eerst in de 19e eeuw verkrijgt hij meer aanzien en worden zijn kennis, handvaardigheid en technisch inzicht naar waarde geschat. Dan daagt het besef dat de preparateur een functie bekleedt die vergelijkbaar is met die van academische docenten. In de 20e eeuw scheiden de wegen van de ontleedkundige en preparateur zich geleidelijk. De preparateur betreedt het pad van de vakman die met gecompliceerde technieken de voor onderwijs en onderzoek nodige preparaten vervaardigt.

onder meer formaline (een oplossing van methanal ofwel formaldehyd) en geconcentreerde suikeroplossingen. De suikers conserveren het preparaat, net zoals dat gebeurt bij het confijten van Zuidvruchten. Dit proces beschermt het preparaat tegen schimmels en bacteriën. Formaline heeft, afhankelijk van de sterkte van de oplossing, een sterk desinfecterend karakter.

In tegenstelling tot de vroege Middeleeuwen, als de hoogleraar vanuit zijn spreekstoel de prosector, de voorsnijder, als het ware dirigeert, bewerken de anatomen in de 16e eeuw zelf hun preparaten. In de 17e eeuw is de pre-

Het prepareren van dieren

Er is weinig bekend over de eerste mensen die van het looien van leer overgaan op het prepareren van dieren. De eerste meldingen hierover stammen uit de 13e eeuw in de kronieken over Frederik II van Hohenstaufen (1212-1250). Daarin wordt verteld dat deze vorst er niet alleen een dierentuin op na hield, maar dat hij ook van vogels min of meer natuurgelooie balgen ofwel afgestroopte huiden liet maken om bij de training van jachtvalken te gebruiken. Zo'n balg liet men dan rondraaien aan een touw, het zogenaamde loerdraaien.

4. Dit fantasievolle preparaat zou niet hebben mistaan in de rariteitenkabinetten die zo populair waren in de negentiende eeuw. In de schaar van het krabachtige wezen bevinden zich enkele sprinkhanen.

5. Preparateurs kunnen ook modellen maken van dieren die al duizenden jaren geleden zijn gestorven. Zo maakte Simon T. Blackshaw dit levensgrote model van Dimka, het in Siberië gevonden baby-mammoetje.



4



5

Tijdens de Renaissance krijgt het preparateursvak een stimulans door de opkomst van de rariteitenkabinetten. In die tijd beijvert men zich in het verzamelen van curiosa, zoals kunstvoorwerpen, skeletten, schelpen, edelstenen, gebruiksvoorwerpen, kledingstukken en opgezette dieren. Later evolueert deze verzamelingen tot systematisch opgebouwde museumcollecties. Amateurs en ambachtslieden voorzien de rariteitenkabinetten van ontelbare opgezette dieren. Aanvankelijk gaat het om 'opgestopte' met stro gevulde huiden, dieren of organen in brandewijn, mummies en gedroogde en geverniste onderdelen van organismen. De preparateur legt zich toe op het vervaardigen van min of meer natuurgetrouwe preparaten. Ook wordt schriftelijk vastgelegd hoe men bepaalde diergroepen (zoogdieren, vogels, vissen, insecten) dient te prepareren en

welke instrumenten en conserveringsmiddelen daarbij nodig zijn.

In de 18e eeuw worden voor het publiek toegankelijke musea gesticht, waarin meer differentiatie ontstaat in collecties. Deze worden aangevuld met vakbibliotheken die vaak bestonden uit handmatig geïllustreerde standaardwerken. Tegen het eind van de 18e eeuw vertoont deze ontwikkeling zijn grootste ontplooiing. Het min of meer geminachte, gewantrouwde, amateuristische en met een griezelige waas omgeven werk, maakt nu plaats voor een erkend beroep.

Het zijn in de loop van de 19e eeuw de Amerikaan Carl Akeley en de Nederlander Herman ter Meer die de prepareertechniek zo perfectioneren, dat ook nu nog het gros van alle vogels en zoogdieren volgens hun methoden wordt opgezet. De door Akeley ontwik-



kelde methode maakt gebruik van grote delen van het skelet van het te prepareren dier. Rond de met ijzerdraad en stangen samengevoegde skeletdelen (poten, schedel, wervelkolom) wordt een kunstlichaam van houtwol, hooi en dergelijke gemodelleerd. Hier overheen brengt de preparateur met gips de contouren van spieren en pezen aan. Tenslotte wordt dit 'naakte' model bekleed met de gelooide huid van het dier. Bij de methode van Ter Meer worden nauwelijks oorspronkelijke skeletdelen in het kunstlichaam opgenomen. Het model dat is opgebouwd uit draad, gips of gaas, wordt met de gelooide huid bekleed. Beide methoden maken het mogelijk levens-echte, natuurgetrouwe preparaten te vervaardigen die vooral in diorama's, gecombineerd met andere dieren en planten, goed tot hun recht komen.

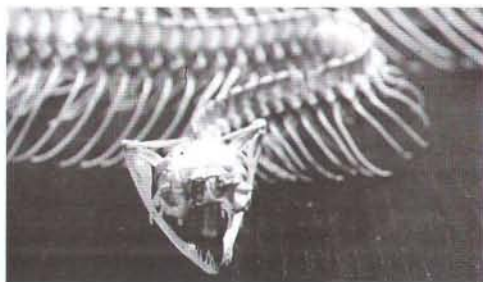
Vriesdrogen

De in de voedingsindustrie tegenwoordig veel toegepaste vriesdroog-techniek (denk aan poederkoffie) vindt ook in anatomische en biologische laboratoria toepassing. De werkwijze is simpel: het preparaat wordt eerst diepgevroren en gewogen en vervolgens in een 'vriesdroog-apparaat' geplaatst. In dat apparaat heerst een hoog vacuüm, gecombineerd met lage temperaturen. Het heeft een dubbele wand. In de

6. Owens driehoornkameleon is geprepareerd met behulp van de vriesdroog-techniek. Deze techniek legt beperkingen op aan het formaat van de te prepareren dieren.



binnenketel heerst een temperatuur van ongeveer -5°C , in de ruimte daarbuiten is dat -40°C . Het vocht uit het preparaat vervluchtigt en sublimiert weer op de koude wand. Nagenoeg alle vocht wordt aan het preparaat onttrokken. Na enige dagen wordt het preparaat opnieuw gewogen en weer in het vriesdroog-apparaat geplaatst. Als het gewicht vervolgens een dag later niet verder is afgenomen, kan worden aangenomen dat het preparaat droog is. Het is dan zelfs zo droog dat het niet opnieuw water kan opnemen. Het is daarmee geconserveerd; bacteriën hebben er geen meer vat op. In bijzondere gevallen, als een preparaat bijvoorbeeld veel vet bevat, kan koolstofdioxide worden toegevoegd. Hierdoor 'verkazen' de vetten, wat een duurzame conservering mogelijk maakt. Een beperking is dat de objecten betrekkelijk klein moeten zijn. De grootte wordt bepaald door het formaat van het vacuümvat. Het verkrijgen van een lage temperatuur in een groot vacuümvat is niet alleen duur, maar ook technisch moeilijk.



7

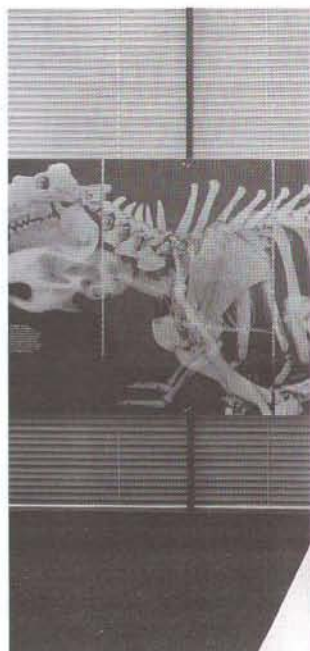
Skeletten en natte preparaten

Het skelet is het gemakkelijkst te conserveren. Door de specifieke eigenschappen van het botmateriaal blijft het skelet het langst in stand. Voor een goed anatomisch inzicht is het skelet van groot belang; alle spieren worden er immers aan 'opgehangen', het beschermt sommige weke delen en ten slotte geeft het steun aan het gehele lichaam. Onder bepaalde omstandigheden kan het zijn dat een skelet dermate goed is gebleven dat het bij een opgraving nagenoeg onbeschadigd te voorschijn komt. Het kan ook actief worden ontvleesd met een

7. Skeletten zijn van dermate stevig materiaal gemaakt, dat ze zeer lang goed kunnen blijven. De diverse onderdelen, zoals de vele wervels van deze bosratelslang, moeten wel aan elkaar worden bevestigd.

8. Skeletten geven ons een aardig idee van de bouw van dieren, zoals deze olifant. Naar verhouding bevatten grotere dieren meer botmateriaal dan kleine dieren.

9. Dit vloeistofpreparaat van een vampier is een onderdeel van de Bleu-land-collectie, en is bijna twee eeuwen oud. De vleermuis is wel enigszins verbleekt.

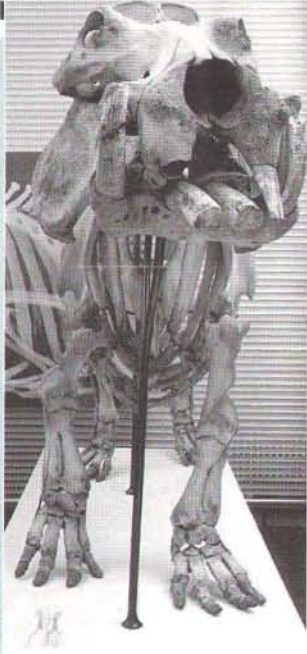


8

maceratie-proces, dat wil zeggen een ontbindingsproces, of met behulp van spekkevers. Na het ontvlezen wordt het skelet ontvet en gebleekt, waarna het kan worden gemonteerd. Bij jonge dieren, waar het skelet nog grotendeels uit kraakbeen bestaat, dienen de gewrichtskapsels intact te blijven.

Het bewaren van het skelet is niet alleen van belang voor de bestudering van de anatomie, maar ook voor de pathologie. Soms is men in staat de doodsoorzaak vast te stellen van organismen die duizenden jaren geleden zijn overleden. Men kan bijvoorbeeld een ontstekingshaard als gevolg van tuberculose of syfilis aantreffen of de gevolgen van al of niet gecompliceerde fracturen.

De conservering van natte preparaten is lange tijd een probleem geweest. Men was wel in staat om ze te maken, maar niet om ze goed te houden. In de 16e eeuw ontdekt Ambroise Paré de conserverende werking van alcohol, zonder deze ontdekking zelf toe te passen. In de loop van de 17e eeuw wordt alcohol inderdaad voor dit doel gebruikt en is men in staat natte preparaten gedurende langere tijd te bewaren. In Nederland dateren de oudste, in alcohol of terpentijn bewaard gebleven prepara-



9

ten uit ongeveer 1670. Men doet over de receptuur in die beginperiode erg geheimzinnig. Frederik Ruysch (1638-1731), de Amsterdamse hoogleraar in de anatomie, heeft deze geheimzinnigheid op een zeker moment laten varen. De vloeistof die hij gebruikt, bestaat uit Nantische brandewijn (60% alcohol) die speciaal voor dit doel uit Frankrijk wordt geïmporteerd, vermengd met hars, peper en tannine (looizuur). De kunst is om de behuizing, de fles waarin het preparaat wordt bewaard, zodanig af te sluiten dat er geen alcohol uit kan verdampen. Inmiddels is een aantal andere bewaarsvloeistoffen ingevoerd waarin de natuurlijke kleuren beter behouden blijven en die minder snel verdampen, zoals formaline en glycerine in een mengsel met natriumacetaat.

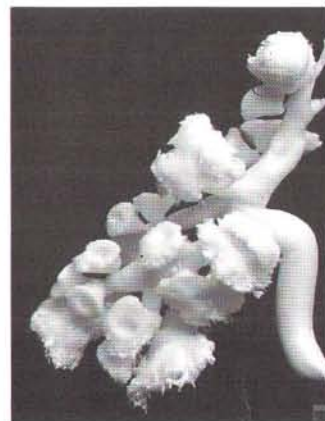
Bloedvaten en andere vaten

Vaatinjecties vinden reeds vanaf de 16e eeuw plaats. In Nederland verwerft vooral Frederik Ruysch, hier in de 17e eeuw faam mee. Hij vult onder andere bloedvaten met kleurstoffen vermengd met is of met kwik. Kwik was vooral een populair middel om de lymfevaten mee zichtbaar te maken.

Een andere techniek die zijn oorsprong in de 17e eeuw vindt, is de corrosie-techniek. Zo vult de Leidse anatoom Govert Bidloo (1649-1713) bloedvaten van een nier met dun vloeibaar lood. Daarna verwijderdt hij het weefsel er omheen, waarna het vaatpatroon zichtbaar is. Tegenwoordig kunnen we dun vloeibare en snel hardende kunststoffen injecteren, die dringen tot in de zeer fijne haarvaten door. Vervolgens maken we de uitgeharde kunststof zichtbaar door het zachte weefsel er om heen voorzichtig op te lossen met loog. Door het gebruik van verschillende kleurstoffen is het tevens mogelijk verschillende vaatsystemen, zoals bijvoorbeeld aderen, slagaderen, lymfevaten en luchtwegen, afzonderlijk zichtbaar te maken. Zo kan men ze in hun samenhang bestuderen.

Het gebruik van heldere, transparante kunstharsen heeft in de wereld van het medisch-biologisch onderzoek en onderwijs een grote vlucht genomen. Voorheen werden vooral gedroogde planten, insecten en skeletten ingebed in polyester. Inmiddels is het ook mogelijk om 'natte' preparaten in te sluiten. Hieraan gaat een aantal behandelingen vooraf. In de eerste plaats dient het preparaat nadat het is gefixeerd, dat wil zeggen dat door een chemische behandeling het ontbindingsproces is tegengegaan, geheel te worden ontwaterd. Dat is nodig omdat water en het oplosmiddel van polyester elkaar niet verdragen en er bij menging van deze verbindingen ernstige troebeling ontstaat. Het ontwateren kan geschieden via een alcohol-reeks. Daarbij plaatst de preparateur

10. Met vaatinjecties kan de preparateur niet alleen de bloedvaten in de nieren van een rund zichtbaar maken, maar ook andere vaten en holten.



10

het preparaat in een oplopende concentratie van alcohol. Omdat alcohol hygroscopisch is, wordt zo bereikt dat er nagenoeg geen water meer in het preparaat achterblijft. Het preparaat kan ook direct in gekoelde (-25°C) aceton worden geplaatst. De lage temperatuur is nodig om te voorkomen dat het preparaat teveel krimpt. Deze laatste methode heeft een aantal voordelen, de belangrijkste is dat er geen tussenmedium nodig is. Een nadeel is dat deze methode duur is door de benodigde geavanceerde apparatuur. De gehele installatie moet namelijk vonkvrij zijn, vanwege de ontbrandbaarheid van aceton, en de ontwateringsmethode vergt de nodige apparatuur.

De techniek van het insluiten zelf, is afhankelijk van de grootte en vooral de dikte van het object. Het uithardingsproces van polyester, dat afhankelijk van de gebruikte harder en katalysator na ongeveer een uur merkbaar wordt, is een exotherme reactie. In extreme gevallen kan het preparaat door de vrijkomende warmte worden beschadigd en bovendien kan de uithardende polyester barsten. Om dit te voorkomen, brengt de preparateur de kunststof in lagen aan, zodat de temperatuur binnen aanvaardbare grenzen blijft. De piektemperatuur kan worden onderdrukt door het proces te laten plaatsvinden in UV-licht, zodat de uitharding minder snel verloopt.

Het insluiten van coupes, dat zijn plakjes weefsel tot ongeveer 5 mm dik, is vrij eenvoudig. Deze kunnen direct tussen twee glasplaten, voorzien van een rubberen rand, worden ingegoten. De glasplaten fungeren dan als een bekisting waardoor onder en boven de coupe direct een glad oppervlak wordt verkregen.

Het grootste probleem bij het insluiten, is het tijdig verwijderen van luchtballen. Deze ontstaan onvermijdelijk in en buiten het prepa-



11

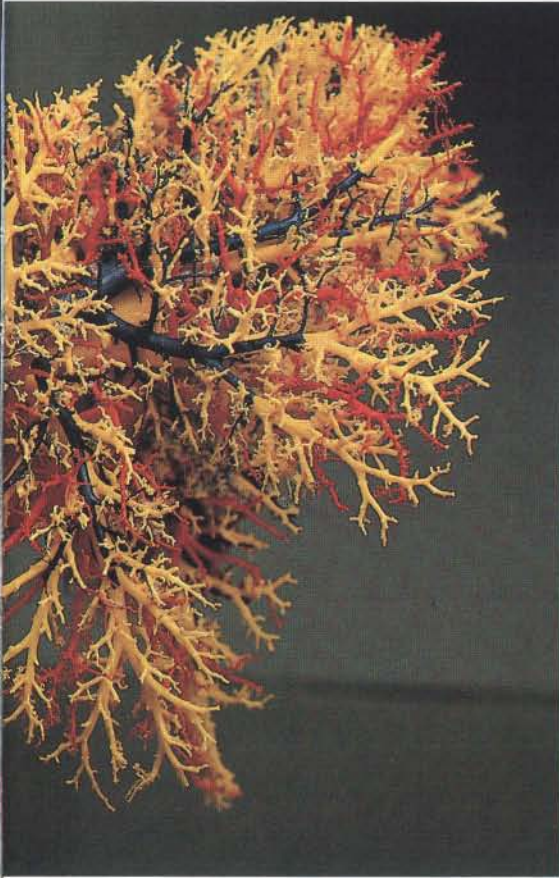


12

11. Biologische materialen, zoals het hart, moeten voorafgaand aan het plastineren eerst met een fixeermiddel worden behandeld. Bij een hol orgaan gebeurt dit onder overdruk.

12. Door verschillende kleurstoffen te gebruiken, verkrijgt men met vaatinjecties een duidelijk beeld van de vertakkingen van aders en slagaders in het hart en de longen van een hond.

raat. Door dunnere vloeistoffen te gebruiken zou de preparateur het ontstaan van de luchtballen kunnen voorkomen, ware het niet dat dit weer problemen ten aanzien van krimp van zowel het preparaat als de polyester geeft. De kunst is om het juiste evenwicht te vinden tussen krimp en luchtballen en dit te combineren met vaardigheid die men slechts door ervaring rijker wordt. Het is van belang dat de 'potlife' (de tijd dat het mengsel verwerkbaar



blijft) zo is ingesteld, dat er voldoende tijd is om de luchtballen te verwijderen.

Het insluiten met epoxyhars gebeurt op soortgelijke manier als met polyester. Epoxyhars heeft als nadelen, dat het geler en minder transparant is; een belangrijk voordeel is echter dat het minder krimpt.

Het grote voordeel van insluittechnieken is dat men het preparaat later kan bekijken zonder dat men last heeft van de vertekening van het blikveld door de glazen wand van een pot. Ook is polyester breukvaster dan glas en is het preparaat minder kwetsbaar doordat het niet heen en weer kan klotsen. Een nadeel is dat polyester snel krast en daardoor op den duur een mat aspect krijgt. Bovendien kan het werken met dit soort insluitmaterialen schadelijk zijn voor de gezondheid.

Plastinatie-techniek

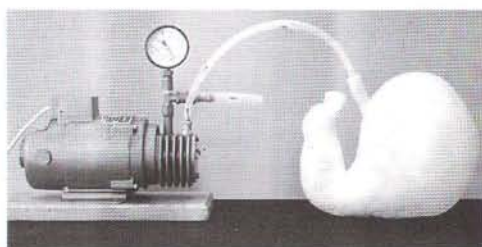
De plastinatie-techniek is een van de recentste ontwikkelingen binnen de reeks van medische en biologische prepareertechnieken. Geïnspireerd door de polyester-insluittechniek, introduceerde de Duitse anatoom en chemicus G. von Hagens deze techniek in 1978. De plastinatie-techniek biedt vele mogelijkheden, die vooral van nut zijn voor het moderne onderwijs. De samenstelling van de te gebruiken ingrediënten is gepatenteerd en de componenten



13. Bij plastinatiemodellen is het weefsel doordrenkt met siliconenrubber, dat vervolgens uithardt onder in-

vloed van een gasvormige katalysator. Deze preparaten tonen onder andere een hart en een maag.

zijn uitsluitend bij de uitvinder verkrijgbaar. In principe komt het in deze techniek er op neer dat alle vocht wordt vervangen door siliconenrubber. Allereerst fixeert men het preparaat. Bij holle organen gebeurt dit met overdruk. Het ontwateren gebeurt bij voorkeur met gekoelde aceton, bij een temperatuur van -25°C . Hierna wordt het preparaat bij lage temperatuur in een vat geplaatst, waarin zich een vloeibaar mengsel bevindt van siliconenrubber, eventueel aangelengd met xylol. Langzaam legt men in dit vat een vacuüm aan, in enkele weken tijd. Daarbij lost het rubber op in de aceton en dringt het het preparaat



14

14 en 15. In een vacuüm-vat raken organen verzadigd met siliconenrubber (15). Als het aceton in het weefsel is vervangen door

het rubber, kan het preparaat uitharden. Een compressor zet holle organen onder druk zodat ze niet dichtklappen (14).

binnen, terwijl het aceton dankzij het aanwezige vacuüm verdampt. Na enige tijd is deze substantie volledig in het preparaat gedrongen. Het preparaat wordt vervolgens in een ruimte opgehangen waarin het kan uitdruipen en harden. Desnoods blaast men een orgaan daarbij op met een compressor. Het uitharden gebeurt met een gasvormige katalysator. Het grote voordeel van de methode is dat men het preparaat na droging kan beetpakken zonder vieze vingers te krijgen. Er is geen 'behuizing' nodig en het voltooide preparaat is nagenoeg onbreekbaar. Dunwandige organen zijn elastisch, maar meer volumineuze preparaten zijn stijf en onbeweeglijk. Als men tijdens het uitharden regelmatig de buitenkant van het preparaat afwist, ontstaat er een preparaat met een zeer gedetailleerde structuur. De methode leent zich minder voor coupes dan het geval is bij polyester- of epoxyhars-insluittechniek.

Er zijn natuurlijk verschillende toepassingen van de preparatiemethoden en -technieken op te noemen. Zo wordt de reconstructietechniek in het verlengde van histologisch onderzoek gebruikt. Het komt er hierbij op neer, dat men met een microtoom zeer dunne plakjes snijdt van een stuk weefsel dat is ingebed in paraffine. De paraffine dient als een steunmedium. De coupes worden op een glasplaat geplakt, gekleurd en met een tekenmicroscop vergroot. Het is nu mogelijk de getekende coupes in de juiste volgorde op elkaar te stapelen, waarna men een vergroot ruimtelijk model van het oorspronkelijke weefsel verkrijgt.



15

Deze reconstructiemethode is ook mogelijk met polyester of epoxyhars als steunmedium. Dit gebeurde tot voor kort steeds met betrekkelijk kleine preparaten, tot een diameter van enkele centimeters. In de Utrechtse Vakgroep Functionele Anatomie van de Medische Faculteit maakt men met behulp van een reuzecryo-microtoom – dat is een groot microtoom waarmee bij lage temperaturen kan worden gewerkt – grotere plakken (men kan denken aan dwarsdoorsneden van een heel lichaam). Men gebruikt dan geen polyester, maar een

TABEL Kiezen voor een preparaat

Methode	Voordeel	Nadeel	Organismen
Looien	Eenvoudig, snel resultaat	Beperkt toepasbaar	Huid van zoogdieren en vogels
Vloeistof-prepareren, algemeen	Goedkoop, eenvoudig	Kwetsbaar (glazen behuizing), beperkt formaat	Bijna alle organismen, ook in combinatie met injectie van vloeistoffen
Alcohol Terpentijn	Duidelijk, eenvoudig Transparant	Kan snel verdampen, ontkleuring. Preparaat verhardt en kan verkleuren	Niet te grote preparaten Vooral kleinere deel-preparaten en organen
Formaline	Goedkoop, redelijk betrouwbaar, verdampt niet snel	Stank, schadelijke damp, preparaat verbleekt	Bijna alle organismen behalve vissen
Droog-preparaten	Duidelijk, goedkoop, minder kwetsbaar dan bij vloeistoffen	Minder details Veel beperkingen ten aanzien van de objecten	Bijna alle organismen behalve weekdieren en dergelijke
Vriesdrogen	Fraai en eenvoudig, snel resultaat	Alleen kleine preparaten, alleen interessant voor de buitenkant, dure apparatuur	Zoogdieren, vogels
Insluiten in polyester of epoxyhars	Zeer educatief	Schadelijk bij verwerking, arbeidsintensief, veel apparatuur nodig	Niet al te waterige organismen
Plastinatie	Educatief, duurzaam	Duur, schadelijk voor het milieu, arbeidsintensief, veel apparatuur nodig	Bijna alle organismen

soort behangersplaksel waarin het preparaat wordt gedompeld en ingevroren. Deze methode is vooral van belang als ondersteuning bij geavanceerde diagnostieken zoals CT-scanning (computertomografie), MRI (beeldvorming met magnetische resonantie) en PET (positronemissietomografie). Deze beeldvormende technieken betekenen een enorme verruiming van de diagnostische mogelijkheden. De beelden (scans) die deze apparaten leveren, moet men wel kunnen lezen. Een belangrijk hulpmiddel daarbij is het gebruik van deze coupes. Ze geven informatie over wat men normaal hoort te zien. Met een videocamera is het mogelijk de opvolgende coupes vast te leggen en ze vervolgens versneld af te draaien. Zo krijgt men inzicht in de ruimtelijke opbouw van een organisme. Het behoeft geen betoog dat deze techniek hoewel arbeidsintensief en duur toch in belangrijke mate bijdraagt aan de directe diagnostiek en het onderwijs.

In dit artikel hebben we slechts een beperkt aantal technieken uit het arsenaal van de preparateur behandeld. De conclusie dat daarmee

het hele scala is uitgeput, is verkeerd. In het kader van dit artikel is enkel gepoogd een beknopt overzicht te geven van een aantal belangrijke mogelijkheden. Dat een steeds grotere kennis van natuurwetenschappelijke processen nodig is, zowel op organisch-chemisch als op fysisch gebied, zal duidelijk zijn. Toch is een uitgebreide handvaardigheid ook nu nog onontbeerlijk om het vak van (universitaire) preparateur effectief te kunnen beoefenen.

Bronvermelding illustraties

Collectie Museum of Comparative Zoology Harvard University. Foto's: Rosamond Purcell: 1, 3.

Artis, Amsterdam: 8.

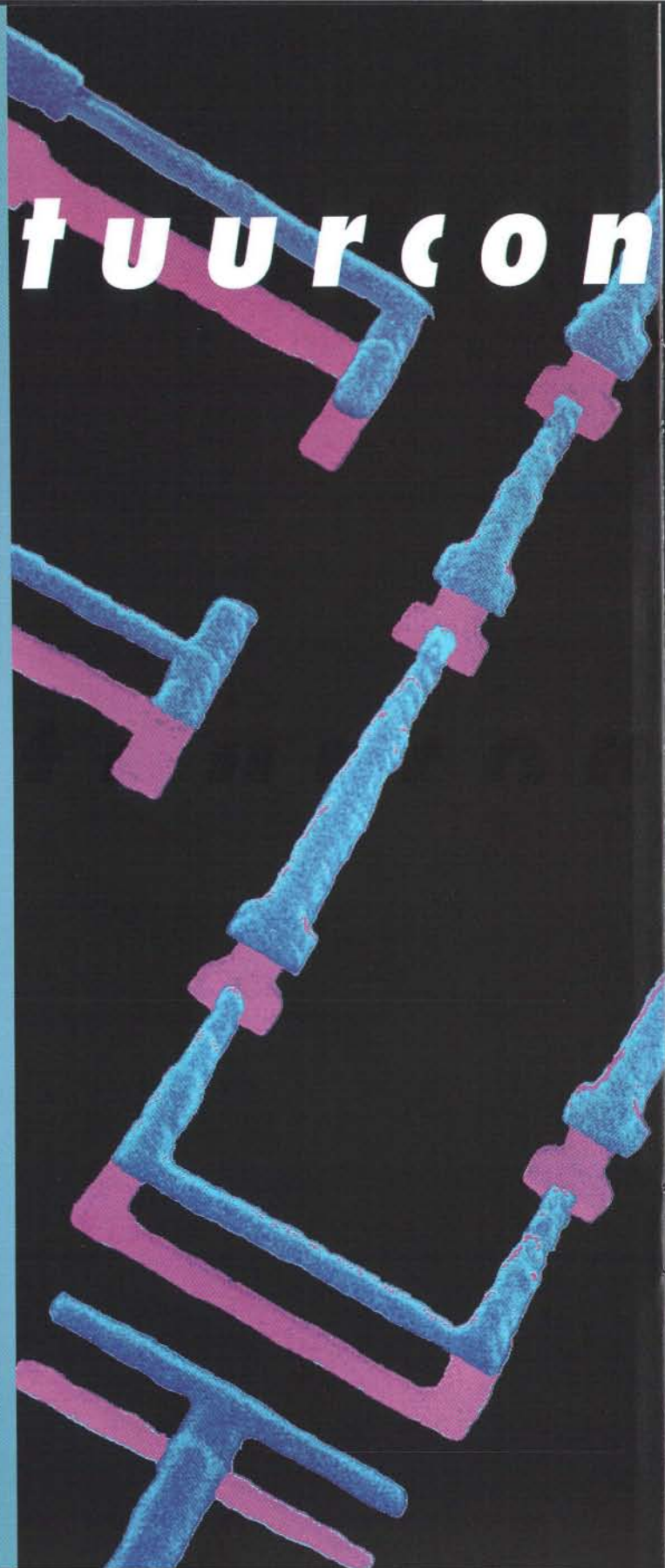
Collectie afd. Zoölogie, Utrechts Universiteitsmuseum: pag. 482, 2, 6, 7, 9 (foto's Simon T. Blackshaw). De preparaten 4 en 5 zijn vervaardigd door Simon T. Blackshaw. Frans Verdonk fotografeerde de preparaten in afbeeldingen 4, 5, 10, 12 en 13.

Onderwijscollectie afd. Anatomie, Faculteit Diergeneeskunde Utrecht. Preparaat W. Kersten: 10, 12, 13.

Vakgroep Anatomie, Rijksuniversiteit Gent: 11, 14 (beide door prof dr P. Simoens), 15 (dr Monique Nicaise).

Natuurcon

In Delft zijn onderzoekers bezig met het ontwikkelen van schakelingen die een rol spelen bij het zoeken naar een nieuwe stroomstandaard op basis van het elektron. Op een silicium ondergrond zijn Josephsoncontacten aangebracht, die bestaan uit twee lagen aluminium met daar tussenin een aluminiumoxidelaagje (hier niet zichtbaar). Onder bepaalde omstandigheden overbruggen elektronen met een zekere frequentie een de Josephsoncontacten.





s t a n t e n

Het begrip natuurconstante is in zekere zin gemakkelijk. Een natuurconstante is een fysische grootheid die 'van nature' constant is. Maar welke grootheden zijn echt onveranderlijk? De snelheid van het geluid? Nee, dat is geen natuurconstante, want geluid plant zich alleen voort in materie en de snelheid is dan sterk afhankelijk van die materie en de toestand waarin die materie is.

Fundamenten voor de fysica

De snelheid van licht? Die is beïnvloedbaar, dus om die te gebruiken als natuurconstante moeten we er al een voorwaarde aan opleggen (in vacuüm). De lading van een elektron? Ja, voor zover we weten, is dat wel een voorbeeld van een natuurconstante.

R. Muijlwijk
Van Swinden Laboratorium
Nederlands Meetinstituut, Delft

Welke grootheden tot de 'natuurconstanten' behoren is niet volledig scherp omschreven. In de praktijk zijn het die grootheden waarvoor fysici aanwijzingen hebben dat de waarde ervan in de tijd zeer weinig varieert en waarvan ze de eventuele variatie in de tijd niet kunnen aantonen met behulp van andere, constante grootheden.

Natuurconstanten zijn voor de natuurkunde om drie redenen belangrijk. Natuurkundigen hebben betrouwbare standaarden nodig om er andere grootheden mee te vergelijken. Natuurconstanten bieden hier uitkomst. Zo gebruiken we de Josephsonconstante als een *referentiewaarde* voor de bepaling van elektrische span-

Zanzibar-eenheden

In 1955 bedacht Harrison van het Massachusetts Institute of Technology het volgende verhaal, dat het belang toont van standaarden die op natuurconstanten zijn gebaseerd en dus in de tijd niet veranderen. Er was een gepensioneerde kapitein, zo wil zijn verhaal, die op het eiland Zanzibar woonde. Zoals kapiteins dat gewend zijn, voerde hij elke dag de ceremonie uit van hijsen en strijken van de vlag en hij vuurde elke dag om twaalf uur een kanon af. Een vriend die op bezoek kwam, vroeg hoe hij wist wanneer het twaalf uur was. Het antwoord was, dat de kapitein zijn horloge gelijk

Van fout naar afwijking

Ooit behoorde de 'foutenleer' tot het domein van de wiskundigen. In de fysica probeert men deze foutenleer om te vormen tot onzekerheidsanalyse, het domein van de praktische metrologen. Daarbij vervangt men de termen *meetfout* en (*on*-)nauwkeurigheid door de betere aanduidingen *afwijking* en (*meet*-)onzekerheid.

ningen (de definitie van de volt gebruikt overigens nog steeds de ampère en mechanische energie). Josephson heeft ontdekt dat er een spanningsverschil ontstaat als men laagjes supergeleidend materiaal die zijn gescheiden door een isolerende laag, bestraalt met microgolven. De grootte van dit spanningsverschil hangt af van de golflengte van de gebruikte straling en de Josephsonconstante. Die Josephsonconstante is gelijk aan tweemaal de elementaire lading, gedeeld door de constante van Planck: $K_J = 2e/h$.

Een tweede reden is, dat natuurconstanten een geschikt hulpmiddel zijn bij het beproeven van meetmethoden en meetopstellingen. Men weet immers bij voorbaat welke waarde de meting van een natuurconstante moet opleveren. Tenslotte is er de uitdaging voor natuurkundigen, om door te dringen tot de grenzen waarbuiten dergelijke grootheden niet meer als constant kunnen worden aangemerkt.



1

zette met de klok in de etalage van een klokkenmaker in het stadje op het eiland. Na zijn bezoek aan de kapitein ging zijn vriend naar het stadje en vroeg daar aan de klokkemaker hoe die zijn klokken gelijk zette. "Dat is eenvoudig", zei de klokkemaker. "Er is aan de andere kant van het eiland een gepensioneerde kapitein die altijd om twaalf uur een kanon afvuurt en daarop zet ik mijn klokken gelijk."

TABEL 1 Fundamentele natuurconstanten

Natuurconstante	Symbool	Waarde
Lichtsnelheid	c	$2,997\,924\,58 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Constante van Planck	h	$6,626\,075\,5(40) \cdot 10^{-34} \text{ J s}$
Gravitatieconstante	G	$6,672\,59(85) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
Boltzmann-constante	k	$1,380\,658\,(12) \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Constante van Avogadro	N_A	$6,022\,136\,7(36) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Rustmassa van het proton	m_p	$1,672\,623\,1(10) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Rustmassa van het elektron	m_e	$9,109\,389\,7(54) \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Elementaire lading	e	$1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-19} \text{ C}$

De getallen tussen haakjes geven de onzekerheid in de gegeven waarden. Waarden ontleend aan de '1986-aanpassing'.

1. De stroombalans die onderzoekers in Teddington ontwikkelen, is een apparaat dat zeer nauwkeurig een verband legt tussen elektrische stroom en kracht.

Dit inmiddels klassieke verhaal is een waarschuwing voor die gevallen waarin sprake is van 'conserverende standaarden'. Een voorbeeld daarvan is een verzameling van standaardweerstand. Als de onderlinge verschillen tussen de weerstanden constant blijven, zou je ervan uit kunnen gaan dat iedere weerstand een constante weerstandswaarde vertegenwoordigt. Maar als de hele groep in dezelfde richting is veranderd, kan je dat niet zien en is er het gevaar dat je met een 'Zanzibar-eenheid' werkt.

De fundamentele natuurconstanten

In het Internationale Stelsel van Eenheden (SI) kennen we een aantal grondeenheden, waarmee we afgeleide eenheden kunnen samenstellen. Een voorbeeld daarvan is de combinatie van de grondeenheden voor elektrische stroom (ampère) en tijd (seconde), waaruit de eenheid voor de elektrische lading (coulomb) volgt ($1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$).

Analoog daaraan bestaat er een basis van natuurconstanten die we kunnen combineren tot andere constanten die in fysische processen een rol spelen. We zagen zojuist al de Josephsonconstante, die gelijk is aan tweemaal de elementaire lading, gedeeld door de constante van Planck. En de Faraday-constante, die we nodig hebben als we de molaire massa van chemische elementen met behulp van elektrolyse willen bepalen, is het produkt van de constante van Avogadro en de elementaire lading.

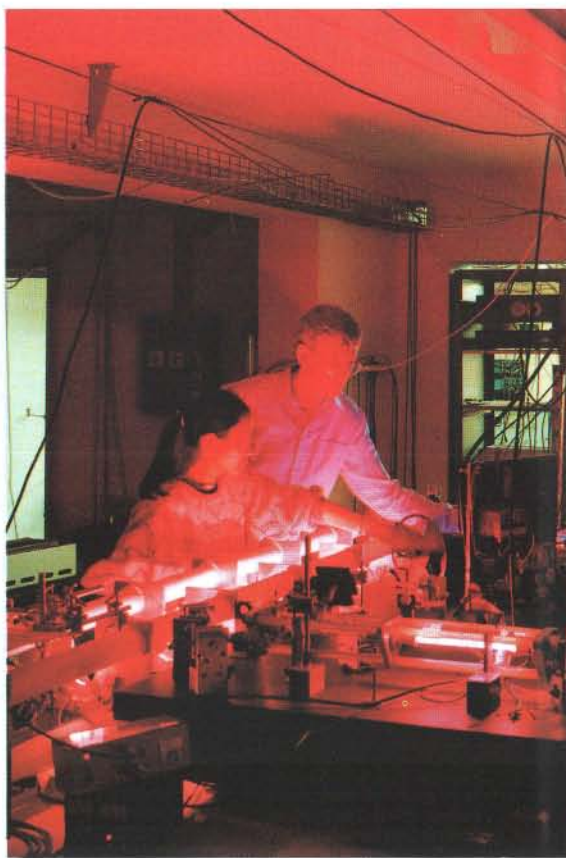
In Tabel 1 staan grootheden vermeld, die in het algemeen als fundamentele natuurconstanten worden aangenomen. Dit betekent dat deze grootheden als onafhankelijk van elkaar worden beschouwd. Uit deze fundamentele natuurconstanten kan vervolgens een aantal andere natuurconstanten worden afgeleid. Daarbij stuiten we enigszins op een kip-of-ei-probleem. Zo staat de elementaire lading hier vermeld als een fundamentele natuurconstante, terwijl in Tabel 2 de fijnstructuurconstante α – de verhouding tussen de elektronsnelheid in de eerste Bohrse baan van het waterstofatoom en de lichtsnelheid – is opgenomen als een afgeleide constante. Of men deze constanten zo rangschikt of dat men ze verwisselt, is meer een kwestie van smaak.

We weten nog niet zeker of de constanten die in de beide tabellen staan, ook werkelijk alle fundamentele natuurconstanten zijn. Zo is nog niet bekend of de constante die de zwakke wisselwerking van elementaire deeltjes karakteriseert, kan worden uitgedrukt als combinatie van andere constanten of dat deze onafhankelijk is (deze constante is daarom niet in de tabellen opgenomen).

De belangrijkheid van natuurconstanten varieert nogal. Hoe onafhankelijker ze zijn – ofwel betrouwbaarder – des te beter kunnen we ze gebruiken. Daarbij spelen technische en wetenschappelijke ontwikkelingen een belangrijke rol. Dat blijkt bijvoorbeeld uit de sterke toename van de belangrijkheid van de lichtsnelheid als natuurconstante in de laatste paar eeuwen.

Nadat door astronomen bewijzen waren verzameld voor de eindigheid van de lichtsnelheid (al door Römer in 1676), bepaalde in 1849 Fizeau deze snelheid op aarde in lucht. Daarmee was de lichtsnelheid c een constante die een eigenschap was van een fysisch verschijnsel (licht). Nadat Kirchhoff opmerkte dat $(\mu_0 \cdot \epsilon_0)^{-1/2}$ de dimensie had van een snelheid en nagenoeg gelijk was aan de lichtsnelheid, verwerkte Maxwell dit in zijn theorie over elektromagnetisme. De lichtsnelheid was nu een kenmerkende grootte voor een categorie van fysische verschijnselen, namelijk de elektromagnetische verschijnselen. Pas met de generalisatie door Einstein in de speciale relativiteitstheorie, veranderde de lichtsnelheid in een fundamentele natuurconstante. Door de opname van een waarde voor de lichtsnelheid in de definitie van de meter, is er nu tevens een exact verband gelegd tussen de natuurconstante c en de grondeenheden van het SI.

We kunnen dus drie typen natuurconstanten onderscheiden, namelijk eigenschappen van fysische objecten (type A), karakteristieke grootheden voor categorieën van fysische verschijnselen (type B) en universele constanten (type C). Voorbeelden van deze drie typen zijn respectievelijk de massa van een elementair deeltje, de gravitatieconstante en de constante van Planck.



2

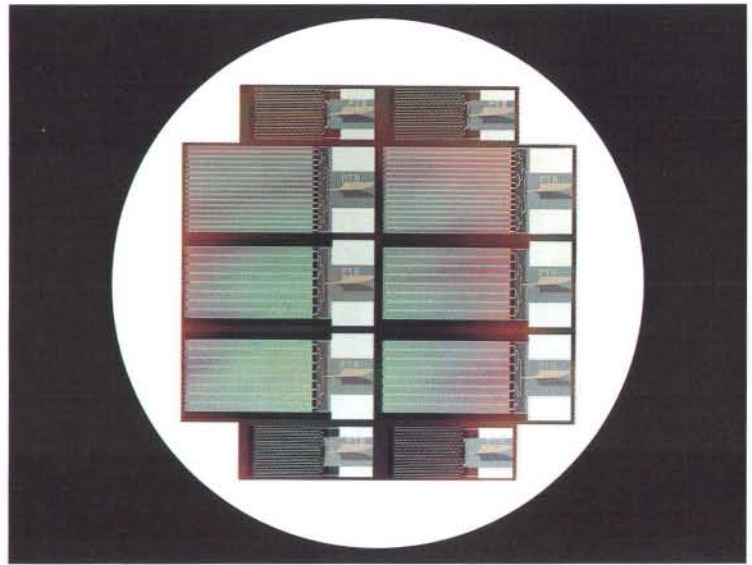
TABEL 2 Enkele afgeleide natuurconstanten

Natuurconstante	Symbol	Afleiding	Waarde
Permeabiliteit van het vacuüm	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$	12,566 370 N A ⁻²
Permittiviteit van het vacuüm	ϵ_0	$(\mu_0 c^2)^{-1}$	8,854 187 F m ⁻¹
Fijnstructuurconstante (x1000)	α	$\frac{1}{2} \mu_0 c e^2 h^{-1}$	7,297 353 08(33)
Rydberg-constante	R_∞	$\frac{1}{2} m_e c \alpha^2 h^{-1}$	10 973 731,534(13) m ⁻¹
Josephson-constante	K_J	$2e h^{-1}$	0,483 597 67(14) PHz V ⁻¹
Von Klitzing-constante	R_K	$h e^{-2}$	25 812,805 6(12) Ω
Bohr-straal	a_0	$\alpha (4\pi R_J)^{-1}$	52,917 724 9(24) pm
Bohr-magneton	μ_B	$e h (4\pi m_e)^{-1}$	9,274 015 4(31) yJ T ⁻¹
Atomaire massa-eenheid	u	$m(^{12}\text{C}) \cdot 12^{-1}$	1,660 540 2(10) $\cdot 10^{-27}$ kg
Elektronvolt	eV	$e C^{-1} (J)$	0,160 217 733(49) aJ
Eerste stralingsconstante	c_1	$2\pi h c^2$	0,374 177 49(22) fW m ²
Tweede stralingsconstante	c_2	$h c k^{-1}$	0,014 387 69(12) K m

y is het symbol voor yocto, sinds 1991 het SI voorvoegsel voor 10^{-24}

2. Ooit diende de frequentiebepaling via frequentieketen en de interferometrische golflengtebepaling voor het meten van de lichtsnelheid. Nu de lichtsnelheid vaststaat, is de frequentieketen geschikt voor de vaststelling van golflengten voor de interferometrie. Hier koppelt men frequenties van zichtbaar laserlicht aan microgolffrequenties van een atoomklok.

3. De behoefte aan betrouwbare natuurconstanten is niet van vandaag of gisteren. In de oudheid gebruikte men de pit van de johannesbroodboom als een massa-eenheid. De naam van deze massa-eenheid bleef behouden in de edelstenenbranche als karaat.



4

4. Deze chip bevat zes 10-V-Josephsonschakelingen met zo'n 30 000 tunnelementen en vier 1-V-Josephsonschakelingen met 3000 elementen op een rij. De schakelingen bestaan uit twee laagjes niobium, gescheiden door aluminiumoxide.

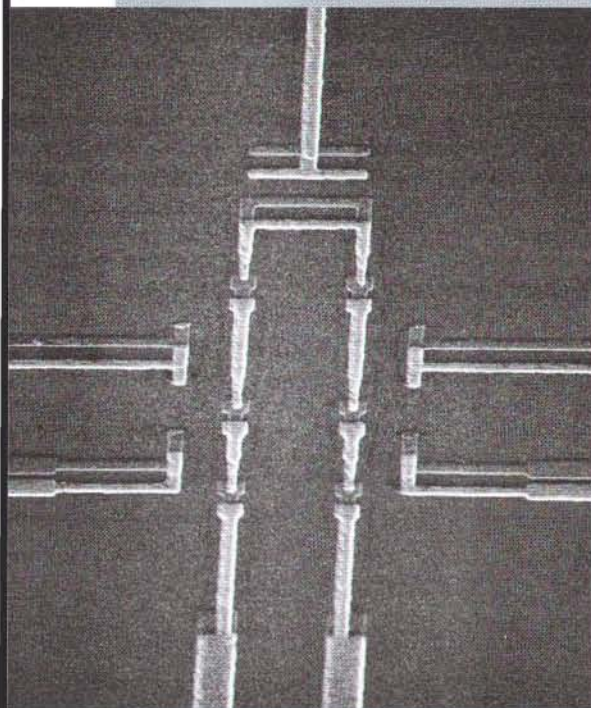
De competitie tussen ampère en kilogram

De huidige standaard van massa, waarmee de SI-eenheid kilogram wordt gedefinieerd, is in feite een 'Zanzibar-eenheid'. Weliswaar wordt niet alleen gekeken naar het kilogram-prototype – dat is het blok metaal dat in Sèvres wordt bewaard, dat de massa van één kilogram definieert – maar wordt een aantal massastukken van hetzelfde type even zorgvuldig bewaard. Maar het is niet mogelijk om na te gaan wat de massa van deze standaarden honderd jaar geleden was. Fysici zouden daarom graag overgaan naar een massastandaard die aan een als natuurconstante te beschouwen grootheid is opgehangen. Maar om een werkelijke verbetering te krijgen, moet zo'n massastandaard dan wel reproduceerbaar zijn met een onzekerheid van hoogstens een op honderd miljoen. Een dergelijke massastandaard is nog lang niet gerealiseerd.

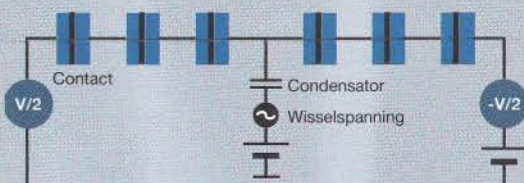
Een alternatief voor het realiseren van een massastandaard die berust op een natuurconstante, is het realiseren van een elektrische standaard die op een natuurconstante is gebaseerd. De ampère is immers afgeleid van de basisgrootheden tijd, lengte en massa. Als men de ampère kan afleiden van een natuurconstante, kan dezelfde relatie het kilogram gaan definiëren!



3



5a



5b

5. *Single electron tunneling* is vergelijkbaar met een draaideur die met constante snelheid ronddraait en die één elektron tegelijk doorlaat. De deur bestaat uit serie-geschakelde condensatoren met een dun diëlektricum. Volgens de wetten van de quantummechanica kunnen er elektronen door de condensatoren lekken als de isolator dun genoeg is. Dan moet een condensator wel zijn opgeladen tot tenminste één elektronlading. De benodigde energie is groter, naarmate de condensator kleiner is. Bij

een zeer kleine condensator is zoveel energie nodig, dat het transport is geblokkeerd. Een elektrisch veld geeft een elektron het benodigde zetje om de condensatorketen in te gaan. Na ompoling duwt dat veld het elektron er aan de overkant weer uit. De quantummechanica legt wel een beperking op. De draaideur mag niet te hard draaien, omdat dan niet iedere keer een elektron oversteekt. De hoogste snelheid die tot nu toe is gehaald, is twintig miljoen elektronen per seconde.

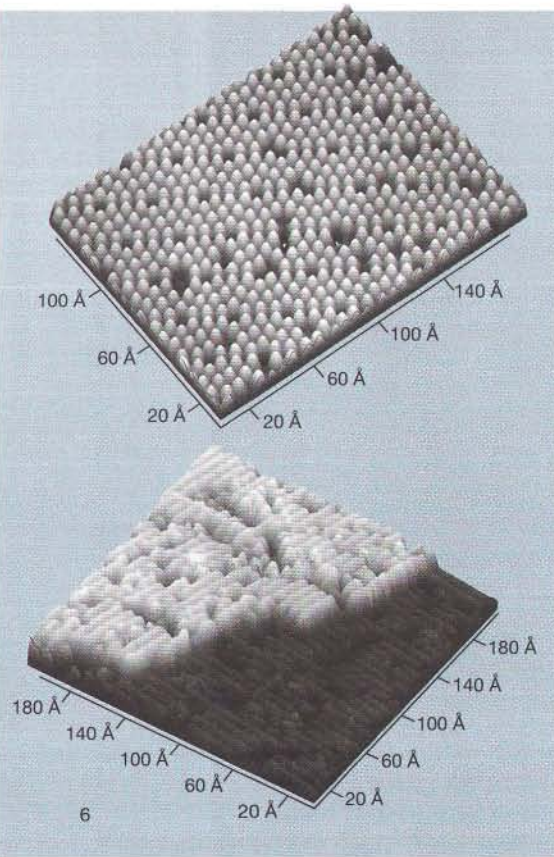
6. De scanning-tunnelingmicroscop toont hoe zuiver een siliciumkristal is. Om een tijdsonafhankelijke massastandaard te

bepalen is de nauwkeurige bepaling van de roosterafstand in het kristal en de specifieke dichtheid nodig.

Een fysische techniek waaraan de laatste jaren veel onderzoek is verricht, is het door een energiebarrière helpen van elektronen. In het Engels noemt men dit *single electron tunneling*, ofwel SET. Daartoe wordt tussen twee elektroden een dunne isolerende laag aangebracht, de barrière. Onderzoekers toonden aan dat elektronen deze barrière kunnen oversteken als er een bepaalde spanning tussen de elektroden heerst. Zodra een elektron oversteekt, daalt daardoor de spanning. Er kunnen dus niet in een zeer korte tijd meerdere elektronen oversteken. Dat maakt het proces controleerbaar. Door de spanning in de 'dode tijd' wat te laten dalen en daarna weer op te voeren, kan men met de frequentie van die wisselspanning elektronen laten oversteken en zo een kleine stroom doen ontstaan. Nu probeert men de techniek verder te ontwikkelen, zodat men SET kan doen met meerdere elektroden-

paren tegelijk. Gebeurt dit betrouwbaar, dus met heel weinig 'missers', dan ontstaat er een goed meetbare stroom met een nauwkeurig bekend aantal elektronen. Dat zou dan een stroomstandaard op basis van de elektronlading kunnen zijn. Voor de realisering van een dergelijke standaard zijn er nauwelijks meer fysische problemen. Maar het oplossen van de technische moeilijkheden zal nog een aantal jaren vergen.

Op dit moment is het mogelijk om twintig miljoen keer per seconde een elektron over de barrière te helpen, wat overeenkomt met een stroom van 3 picoampère. Dat is echter nog te weinig voor een precieze stroommeting. Als de onderzoekers erin slagen om een voldoende grote stroomsterkte te behalen, kan men de huidige techniek met referentiewaarden voor weerstand en spanning weer verlaten. De stroom is dan een primaire grootte (direct



samenhangend met de lading van het elektron en de grootte van tijd) en kracht kan men dan definiëren via de krachtwerking tussen stroomvoerende geleiders.

Het is ook voorstelbaar dat onderzoekers een manier vinden om een natuurconstante van massa te baseren op de massa van atomen. Dan moeten ze een zo groot aantal atomen kunnen tellen, dat die samen een goed meetbare massa vormen. In beginsel is een dergelijke techniek volstrekt gelijkwaardig aan het technisch verder ontwikkelen van SET.

Een reële mogelijkheid voor het tellen van atomen, gaat uit van een heel zuiver silicium-kristal. De atoomafstanden in het kristal meet men met kortgolvig licht. Vervolgens slijpt men een bol uit het kristal en bepaalt men het bolvolume door een groot aantal diametermetingen. Met deze gegevens kan men dan berekenen hoeveel atomen er zich in de bol bevin-

den. De onzekerheid van deze bepaling bedraagt echter nog zeker drie op tien miljoen. Zo precies zal de huidige massastandaard voor de volgende honderd jaar ook nog wel zijn.

Een andere mogelijkheid om atomaire massa te gebruiken voor het vaststellen van een massaconstante, werkt via verdamping en ionisering van atomen. De ionen kan men via een massaspectrometer selecteren en vervolgens opvangen in een elektrisch geïsoleerd vat. Via een elektrisch circuit meet men de oplading. Door deze oplading te delen door de elektronlading weet men hoeveel atomen zijn opgevangen. Door weging bepaalt men vervolgens de massatoename van dat vat. Deze benadering is echter nog niet meer dan een gedachtenexperiment.

Helaas is op het gebied van het tellen van atomen op dit moment vrij weinig geld voor onderzoek beschikbaar. Daardoor is de competitie tussen de ampère en de kilogram nu de ongelijke strijd tussen de magische elektronica en het saaie tellen van atoompjes. Waaruit maar weer eens blijkt dat zelfs een vak van feiten door menselijke emoties wordt beheerst.



7

7. In Duitsland bepaalde men met de spanningsbals, een elektrostatische

spannings-krachtoormvormer, de waarde K_J van de Josephsonconstante.

Natuurconstanten meten

Aan het meten van natuurconstanten komt een groot deel van de beschikbare fysische meettechnieken te pas. Omdat men bij de meting van natuurconstanten streeft naar de uiterste nauwkeurigheid die de definities van de standaarden van de basisgrootheden van het SI toelaten, benut men deze technieken tot hun uiterste grenzen. Dat betekent vooral dat men oorzaken voor afwijkingen in meetresultaten moet opsporen en zoveel mogelijk moet uitschakelen of beheersen. Het bereiken van een hogere zekerheid door herhalen van metingen en statistisch verwerken van de resultaten is slechts een uiterste redmiddel. Indachtig een uitspraak van Lord Ernest Rutherford: "als je voor je experiment statistiek nodig hebt, zou je een beter experiment moeten uitvoeren!"

De meeste metingen van de lichtsnelheid zijn hoogstandjes in de fysische meettechniek (zie Intermezzo). Ook voor het bepalen van de waarde van andere natuurconstanten zijn top-

De snelheid van het licht

Een voorbeeld van het verband tussen de stand van de meettechniek en datgene wat men doet om tot een precieze bepaling van een natuurconstante te komen, is de bepaling van de waarde van de lichtsnelheid in de loop van de tijd. Bij de eerste aardse meting van de lichtsnelheid, 1849, maakte Fizeau gebruik van een tandwiel met 720 tanden en een spiegel op 8,6 kilometer afstand. De vereiste draaisnelheid van het tandwiel was rond 2500 toeren per minuut. De bereikte zekerheid in de meting van deze draaisnelheid was beter dan vijf procent, wat in een tijd zonder elektronische toerentellers zeker niet slecht was.

Tot 1928 bleven de mechanische rotaties in gebruik, het laatste en het meest nauwkeurig in een meetopstelling van A.A. Michelson. In zijn opstelling bevond zich een roterende, spiegelen-de veelhoek met 32 vlakken. De lichtweg in vacuüm bedroeg zestien kilometer, door herhaalde reflectie in een opstelling met een lengte van 1,6 kilometer. Met een rotatiesnelheid van de veelhoek van 585 toeren per seconde, was de relatieve onzekerheid teruggebracht tot $1,5 \cdot 10^{-4}$.

Bij latere bepalingen gebruikte men in plaats van de mechanische schakelaar een Kerr-cel. Dat is een kristal dat in een elektrisch veld dub-



8

8. *Single ion fluorescence*, hier zichtbaar als een geel vlekje, is een veelbelovende techniek. De fluorescentie van vrije en ongestoorde ionen vormt een lichtbron met een precies reproduceerbare frequentie.

9. Bryan Kibble en Tony Hartland van het Britse NPL, verstellen de apparatuur die nodig is om de quantum-Hall-weerstand te meten. Het quantum-Hall-effect koppelt een bepaalde verhouding van spanning en stroom aan de constante van Planck en de elektronlading.



9

belbrekend wordt en daardoor als lichtschakelaar kan worden gebruikt. Met een hoogfrequent veld zou dit beter moeten werken dan een mechanische schakelaar, maar de gemeten lichtsnelheid bleek systematisch te laag te zijn.

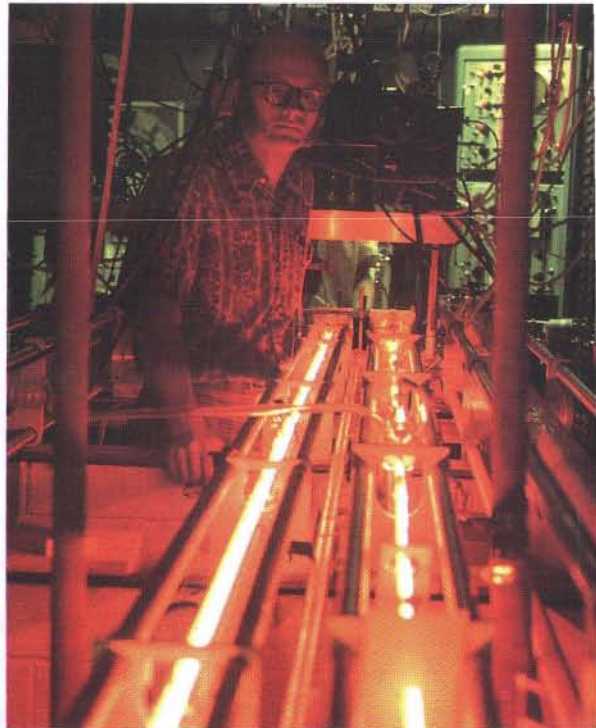
Na de Tweede Wereldoorlog bleken vooral interferometertechnieken met microgolven succesvol bij de bepalingen van de lichtsnelheid. Een hoogtepunt is het onderzoek van Froome, die op basis van diverse metingen in 1958 voor de lichtsnelheid de waarde $c = 299\,792,5 \pm 0,1 \text{ km s}^{-1}$ publiceerde. Froome kon met zijn interferometer het weglengteverschil tussen twee bundels elektromagnetische straling variëren van + 8 meter tot - 8 meter, met microgolven met een golflengte van ongeveer vier millimeter. Het meten van een verplaatsing van acht meter met een onzekerheid van minder dan drie delen op tien miljoen was een geweldige prestatie. En meten van een frequentie van 72 GHz met die zekerheid was toen ook zeker niet eenvoudig.

Tot 1972 bleef het resultaat van Froome ongeëvenaard. Maar toen slaagden Bay en Luther van het Amerikaanse National Bureau of Standards (NBS) er in om met frequentiemodulatie van een laser twee banden te genereren met een frequentieverschil van 9,2 GHz. Ze stelden een Fabry-Pérot-interferentiefilter op beide banden tegelijk in en de lengte van dit interferentiefilter werd met een standaardgolflengte gemeten. Hun resultaat was vijfmaal zo nauwkeurig als dat van Froome.

In hetzelfde jaar was Evenson, ook van het NBS, degene die de eerste waarde van c bepaalde volgens een methode die het einde van het meten van de lichtsnelheid inluidde. Hij gebruikte een klystron (een elektronenbuis met een zeer hoge frequentie) en enkele tussenlasers, alsmede puntcontactdioden om frequenties tot 10 THz waar te nemen. Hij bepaalde de frequentie van het licht uit een helium-neonlaser waarvan de golflengte rond $3,39 \mu\text{m}$ constant werd gehouden. Daartoe regelde hij de lengte van de laser zo, dat er steeds maximale absorptie van licht optrad voor een bepaalde energieovergang (spectraallijn) in methaangas (methaan-gestabiliseerde helium-neonlaser). Van deze straling was het mogelijk om met zeer hoge zekerheid de golflengte te vergelijken met de kryptongolflengte die destijds

I-1. De Amerikaan Evenson, werkzaam bij het National Bureau of Standards (thans NIST),

heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de uiteindelijke definitie van de lichtsnelheid.



I-1

de meter definieerde. De meest beperkende factor in de nauwkeurigheid van de golflengte was uiteindelijk de kryptongolflengte zelf. Vanaf toen dacht men aan een herdefinitie van de meter. Na een aantal bevestigingen van de gemeten lichtsnelheid, werd in 1983 de definitiewaarde $299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$ toegekend aan de lichtsnelheid, waarmee de eenheid meter een afgeleide werd van de lichtsnelheid en de seconde.

prestaties in de meettechniek geleverd. Zodanig zelfs, dat men kan stellen, dat het bestuderen van de meest recente bepalingen van natuurconstanten een goed inzicht geeft in de stand van de fysische meettechniek.

Tabel 2 vermeldt waarden van een aantal van de in de fysische praktijk meest voorkomende natuurconstanten, die afhankelijk zijn van de natuurconstanten in Tabel 1. Men kan de waarde van een aantal van deze constanten

onafhankelijk van de andere natuurconstanten bepalen in termen van SI-eenheden. Daardoor krijgt men de beschikking over een overmaat aan gegevens voor het maken van een lijst van waarden van natuurconstanten. Die waarden moeten zo nauwkeurig mogelijk zijn, maar ze mogen onderling niet tegenstrijdig zijn. Zo zal het verband tussen de Josephsonconstante, de elementaire lading en de constante van Planck hetzelfde moeten blijven ($K_J = 2e h^{-1}$). Een dergelijke samenvoeging van alle experimentele gegevens is een vrij gecompliceerde zaak. In het begin van de jaren zeventig hebben Dick Cohen en Barry Taylor op zich genomen om zo'n lijst te maken. Dat resulteerde in de 1973-aanpassing van natuurconstanten.

Alhoewel de samengestelde lijst bij tal van meetprocedures als leidraad werd gebruikt, ging het beter bepalen van natuurconstanten vanzelfsprekend gewoon door. Maar het gaat te ver om bij elke verbeterde bepaling van een natuurconstante de lijst aan te passen. Dit is niet alleen een onuitvoerbaar taak, maar het is ook ongewenst. Bij veel fysische metingen gebruikt men immers waarden van natuurconstanten. Als daarvoor steeds andere waarden worden gebruikt, zijn de resultaten al snel onvergelijkbaar. Na zo'n tien tot vijftien jaar zijn er echter zo veel betere bepalingen gepubliceerd, dat een nieuwe aanpassing nodig is. Die aanpassing is ook uitgevoerd door Cohen en Taylor en gepubliceerd als de 1986-aanpas-

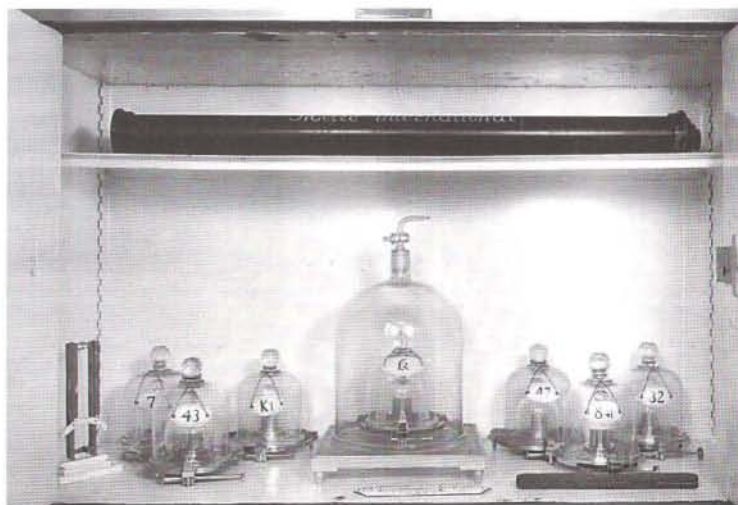
sing van de fundamentele natuurconstanten. De getalwaarden in Tabel 1 en Tabel 2 zijn aan deze laatste aanpassing ontleend.

Variabele constanten?

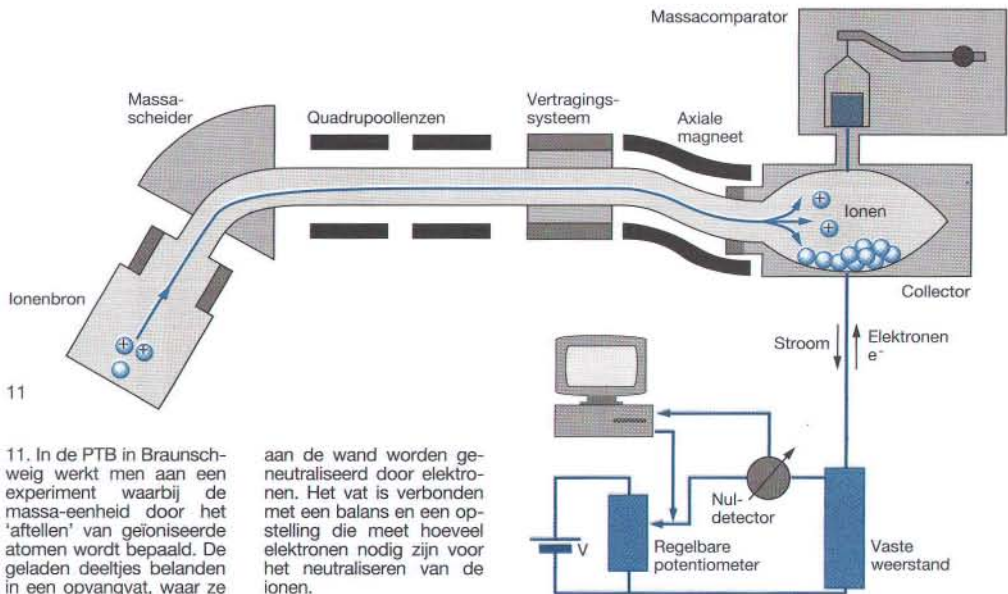
De kosmologie is het deel van de fysica dat de wordingsgeschiedenis van het heelal beschrijft. Voor kosmologen is het zeer belangrijk dat natuurconstanten met het verstrijken van de tijd niet variëren. Een groot deel van de theorieën over het ontstaan van het heelal zijn niet houdbaar als de verandering in de tijd van natuurconstanten zekere grenzen te boven gaat. Daarom zoeken kosmologen naar verschijnselen die meetbare informatie opleveren over de mogelijke variatie van natuurconstanten. Bij hun metingen stuiten ze op de onzekerheid bij het meten van de gezochte grootte en de onnauwkeurigheid in de standaarden die ten grondslag liggen aan de gemeten waarde. Tot nu toe is het niet mogelijk gebleken om de grens van de mogelijke variatie van de natuurconstanten als gegeven in Tabel 1 en Tabel 2 experimenteel lager te krijgen dan 1 deel op 10^{13} per jaar.

Een voorbeeld van de technieken die daarvoor worden gebruikt is een test op de constantheid van de universele gravitatieconstante. Op de maan staan sinds ruim twintig jaar enkele samengestelde spiegels die het mogelijk maken om de afstand tot de maan te meten

10. In Sèvres bewaart men nog steeds het prototype voor de kilogram. De meterstandaard die hier boven het kilogram-prototype zichtbaar is, is inmiddels vervangen door een definitie die uitgaat van de lichtsnelheid. Het is de vraag, hoe lang we moeten wachten voordat er een betrouwbaar alternatief voor het kilogram-prototype is.



10

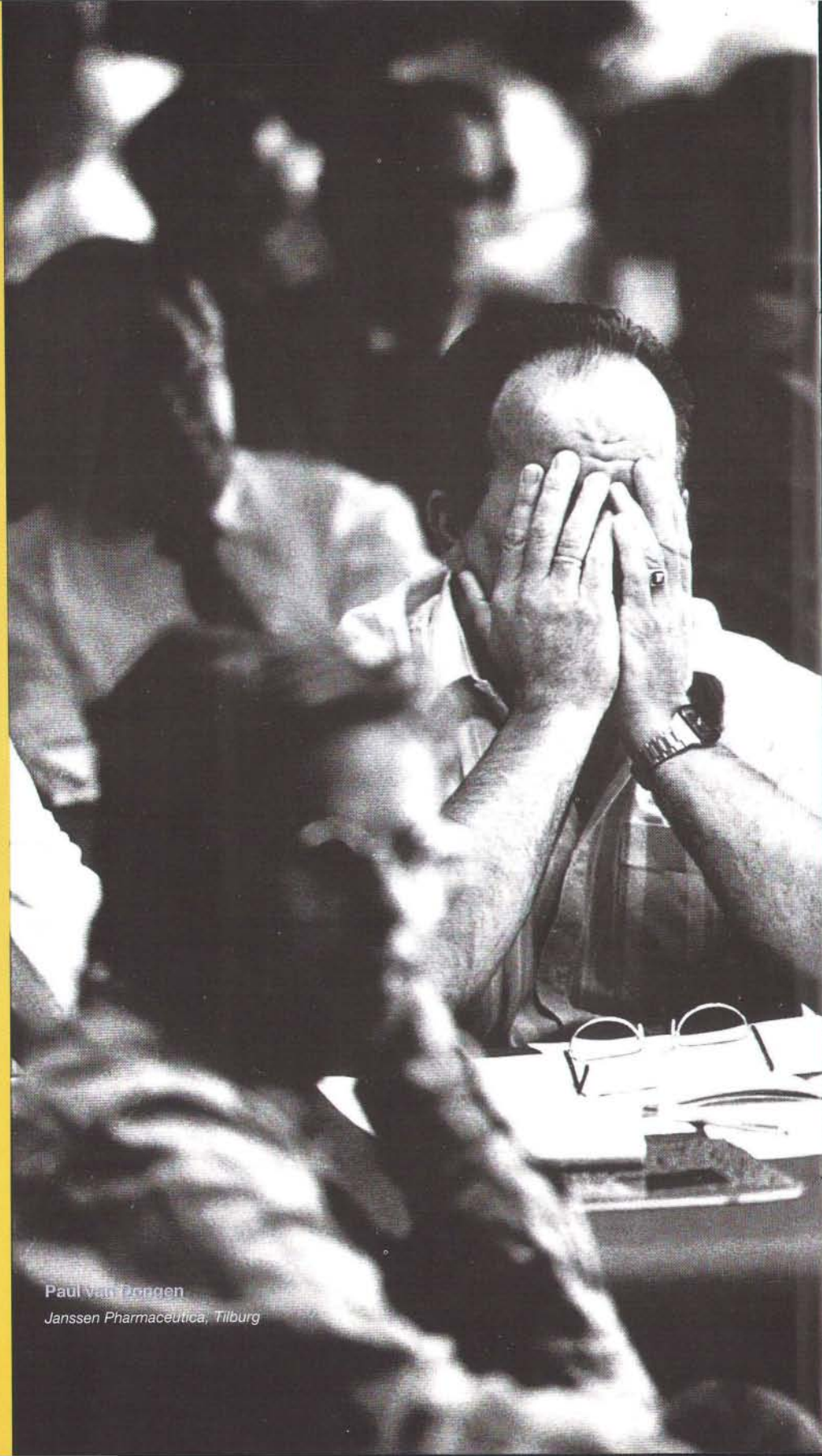


met een onzekerheid van slechts 15 centimeter. Door de baan van de maan nauwkeurig te volgen, kunnen de zwaartekrachtinvloeden op de baan van de maan goed worden bepaald. Door vervolgens de baan van de maan onder deze invloeden te berekenen en deze berekende baan te vergelijken met de waargenomen baan van de maan kan een limiet worden gesteld aan de mogelijke verandering in de tijd van de gravitatieconstante. Die verandering is in elk geval minder dan 1 op 10^{12} per jaar. Met een thans aangenomen leeftijd van ons heelal van drie miljard jaar is daarmee aangetoond dat de gravitatieconstante gedurende de leeftijd van ons heelal dus minder dan 0,3% is veranderd. Men kan zich afvragen of, als deze constante binnen de grenzen van $\pm 0,3\%$ onveranderd is, er nog redenen zijn om überhaupt aan een verandering te denken, maar dat is nu juist gevaarlijk. Juist als we ons geen voorstelling kunnen maken van wat er zou kunnen gebeuren, moet de theorie op de waarneming stoelen. Daarbij is het de taak van de fysicus, om een waarneming te bedenken die de grootste bijdrage levert bij het verkrijgen van een antwoord op de gestelde vraag. Een onderwerp dat in de komende jaren in de schijnwerpers zal blijven staan, is de vervanging van prototype K, de standaard van


massa die in Sèvres wordt bewaard, door enige vorm van atomaire definitie. In het algemeen zullen ook de experimenten worden voortgezet of nieuwe worden opgezet om de waarde van natuurconstanten in nog meer decimalen te bepalen. En dat zal, evenals in het verleden is gebeurd, niet alleen een zaak van technische verfijning en volharding blijken te zijn. Ongetwijfeld zullen ook resultaten worden geboekt die nieuwe mogelijkheden openen voor de verificatie van fysische theorieën, voor de verbetering van standaarden en zelfs voor nieuwe technologische toepassingen.

Bronvermelding illustraties

Ir Stefan Verbrugh, vakgroep vaste stof - supergeleiding, TU Delft: pag. 492-493, 5.
National Physical Laboratory, Teddington, GB: 1.
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig, D: 2, 4, 6, 7.
Oxford Scientific Films, Oxford, GB: 3.
Pete Addis, Twickenham, Middlesex, GB: 9.
NIST, Gaithersburg, Md., VS: 8, I-1.
BIPM, Sèvres, F: 10.



Paul van Dongen
Janssen Pharmaceutica, Tilburg



Eerherstel voor het **middagdutje?**

De laatste jaren zijn er vele aanwijzingen gekomen dat het middagdutje deel uitmaakt van het normale biologische ritme van de mens. Niet alleen bij kleuters en ouderen, maar ook bij jonge volwassenen – zij het in mindere mate. Niet alleen in de (sub)tropen, maar ook in ons gematigde klimaat.

In de middag levert menig toehoorder van een lezing een verbeten gevecht tegen de slaap. Het liefst zou hij zijn ogen sluiten en een uiltje knappen, maar dat kan natuurlijk niet. Dus zet hij zijn bril af, wrijft in zijn ogen, kijkt wat rond en schroeft zijn pen uit elkaar, om met wat afleiding de slaap te boven te komen. Het valt niet mee het middagdutje te onderdrukken.

Slapen doe je 's nachts en overdag ben je wakker. Kinderen en veel oude mensen doen weliswaar overdag een middagdutje, maar voor mensen tussen pakweg vijf en vijftig jaar zou één lange slaaperiode per etmaal – de *monofasische slaap* – normaal zijn. Verder zouden middagdutjes hooguit goed zijn voor mensen in warme landen. In westerse landen worden middagdutjes soms beschouwd als een teken van luiheid, onverantwoordelijkheid, onrijpheid of aftakeling.

Zo dacht men er tot ongeveer 1985 over. De laatste jaren komen er echter steeds meer aanwijzingen dat de slaapneiging 's middags extra groot is – ook voor jonge volwassenen. Men denkt nu dat voor de meesten een *bifasisch* slaappatroon normaal is: een lange nachtslaap en een kort middagdutje. Dit is niet zomaar een modieuze gedachte; het middagdutje is een verschijnsel waar we serieus rekening mee moeten houden.

Siësta-culturen

In veel tropische landen valt rond het middaguur het openbare leven stil. De winkels sluiten, de mensen stoppen met werken en trekken zich terug in hun huizen. Veel mensen doen een dutje, maar sommigen gaan gewoon rustig in de schaduw zitten: de siësta. De hele maatschappij is er op ingesteld. Iedereen gaat ervan uit dat het tijd is om te slapen of minstens te rusten. In Noord-Europa beschouwen we de siësta als een typisch (sub)tropisch verschijnsel, vandaar het Spaans-Italiaanse woord ervoor. Inderdaad worden bijna alle culturen waar de siësta een normaal deel van het leven uitmaakt, aangetroffen in warme gebieden, zo tussen dertig graden noorder- en zuiderbreed-

1. Een middagdutje lijkt in onze samenleving slechts weggelegd voor bevolkingsgroepen waarbij het sociaal wordt geaccepteerd – jonge kinderen en ouderen bijvoorbeeld. Toch is de inslaapneiging 's middags bij iedereen aanwezig.



1

te. In typische siësta-culturen valt de rustperiode ergens tussen 12 en 16 uur; een typisch middagdutje duurt ongeveer twee uur.

We moeten wel bedenken dat dit niet voor alle tropische landen geldt. Bij sommige volkeren in tropische gebieden zijn middagdutjes ongebruikelijk of worden ze zelfs als een teken van luiheid beschouwd. In Peru dutten ongeschoolde arbeiders vaker en langer dan hun hogergeschoolde landgenoten. In landen met een duidelijke seizoenswisseling houden 's zomers meer mensen siësta dan 's winters.

Kortgezegd beschouwen we de siësta als een mogelijkheid om de hete middaguren door te komen. Maar het is een gewoonte waaraan

Wakker blijven

In het verleden heeft men veel experimenten gedaan om mensen gedurende meerdere ertmalen wakker te houden. Zoals men zich kan voorstellen, wordt de neiging om in slaap te vallen dan steeds groter. Dergelijke experimenten geven ook hints over hoe men zo goed mogelijk wakker blijft. Een belangrijke methode is lichamelijke activiteit. Voor mensen die tegen hun slaap

vechten, volstaat een simpele wandeling om wakker te blijven, maar zodra ze gaan zitten of liggen vallen ze in slaap. Ook iets interessants – inspirerend gezelschap, een boeiend tv-programma of een bezigheid die concentratie vergt – kan mensen goed uit hun slaap houden. De hoeveelheid licht speelt ook een rol: hoe meer licht, hoe gemakkelijker men wakker blijft.

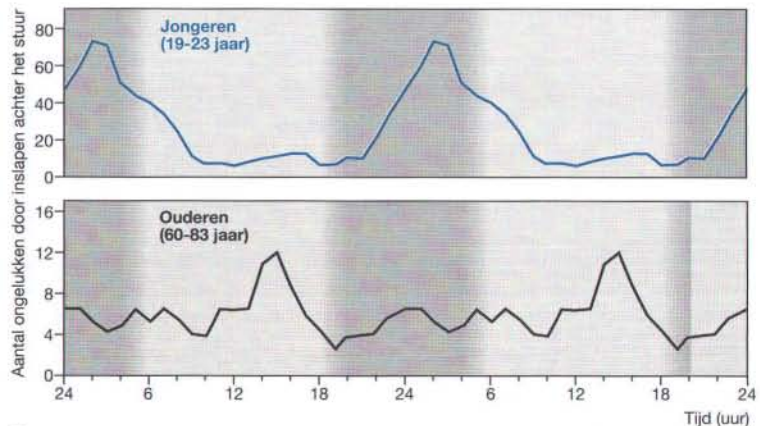


men kan ontkomen, wanneer het bijvoorbeeld niet zo warm is, of als het werk dat vereist. Wie echter goed kijkt, treft ook bij de bewoners van gematigde gebieden de behoefte aan een middagdutje aan.

Slaperig achter het stuur

Bij sommige auto-ongelukken lijkt het erop dat de auto 'zomaar' tegen een boom is gebotst, of 'zomaar' van de weg is geraakt. Er waren geen andere auto's bij het ongeluk betrokken, de weg en het zicht waren goed en er waren verder geen concrete verklaring voor het ongeluk, zoals het gebruik van alcohol of suf-makende geneesmiddelen, te lange rijtijden of zelfmoord. Uit niets bleek dat de bestuurders hadden geprobeerd het ongeluk te vermijden door te remmen of bij te sturen. Bestuurders die een dergelijk ongeval overleefden, konden niet vertellen wat er gebeurd was.

2 en 3. Auto-ongelukken die kennelijk aan niets anders kunnen worden worden geweten, dan dat de bestuurder in slaap is gevallen, treden bij jongeren vooral 's nachts op, maar bij ouderen vooral in de middag.



2



3

Alles wijst er dan ook op dat zij achter het stuur in slaap zijn gevallen.

In de VS en Israël zijn duizenden van dergelijke ongelukken geanalyseerd. Het bleek dat er een duidelijk patroon zit in het optreden van auto-ongelukken door slaperigheid (afb. 2). Jongeren zijn vaker betrokken bij auto-ongelukken door slaperigheid tussen middernacht en zes uur 's ochtends. Ouderen daarentegen veroorzaken de meeste auto-ongelukken door slaperigheid 's middags tussen twee en vijf.

Toch zien we ook bij jongeren al het begin van een middagpiekje. Deze statistiek van auto-ongelukken door inslapen vormt waarschijnlijk het hardste argument voor de stelling dat de neiging om 's middags in slaap te vallen relevant is voor het dagelijks leven en de veiligheid.

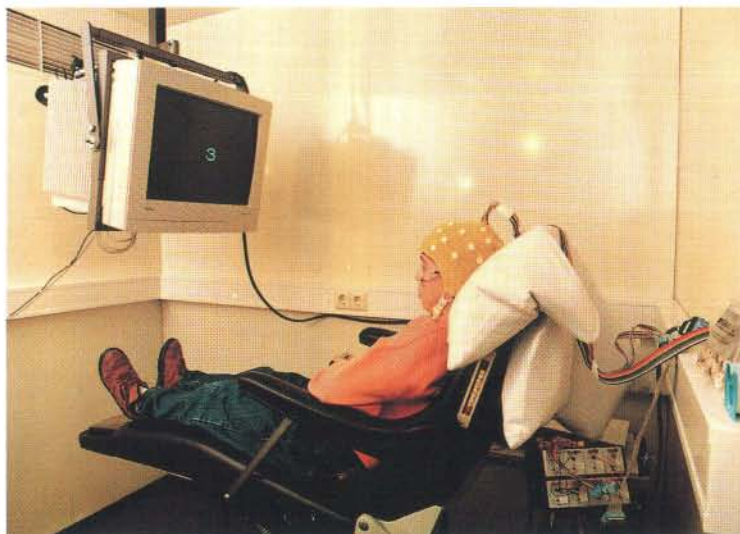
De neiging om 's middags in slaap te vallen, blijkt ook uit diverse andere onderzoeken. Treinen zijn zo beveiligd, dat ze automatisch stoppen wanneer de machinist inslaapt. De machinisten van Duitse treinen krijgen op gezette tijden een toontje te horen. Als ze daarna niet binnen 25 seconden een knop indrukken, gaat er een lampje knipperen. Reageert de machinist dan nog niet, dan volgt na 2,5 seconde een waarschuwingstoon en als de machinist ook daar niet op reageert, stopt de trein automatisch. De tijdstippen van meer dan tweeduizend automatische noodstops zijn in kaart gebracht. Er zijn twee grote pieken: rond 3.30 uur en rond 13.30 uur. Hetzelfde patroon zien we ook bij andere beroepen. In een Zweeds gasbedrijf zijn gedurende twintig jaar de afleesfouten van meters geanalyseerd. De meeste fouten blijken voor te komen tussen 24 en 6 uur, met een extra piekje tussen 14 en 16 uur. In het algemeen is het dagelijks functioneren vooral 's nachts verstoord en in mindere mate – maar wel degelijk meetbaar – tussen 14 en 16 uur.

4 en 5. In veel (sub)tropische gebieden is het middagdutje een dagelijkse gewoonte. De kaart geeft slechts de belangrijkste siësta-culturen weer; in feite zijn er veel meer.

6. Rond twee uur in de middag is de prestatie op veel psychologische testen enige tijd verminderd. Men noemt dat de post-lunchdip.



4

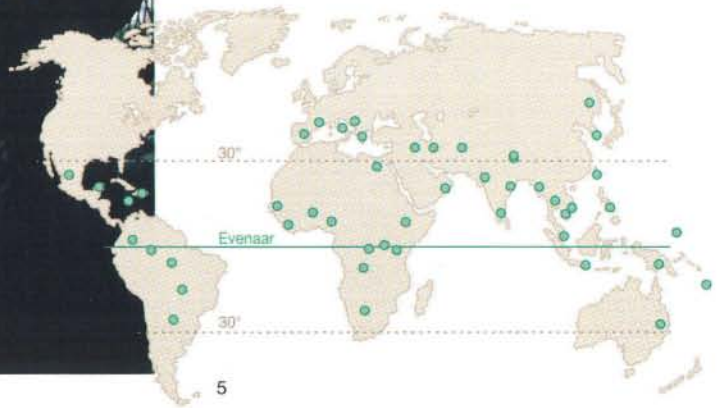


6



maar is consistent en reproduceerbaar. Zo'n dal in het psychisch functioneren is gevonden in veel verschillende psychologische testen. Terwijl de maxima voor verschillende psychische prestaties op verschillende tijdstippen liggen, treedt er bij vele taken een opmerkelijk stabiel dal op tussen 12 en 16 uur. Wordt dit dal misschien veroorzaakt door het middagmaal?

Velen zijn maar al te vertrouwd met het gevoel van slaperigheid na het middageten. Als verklaring voor de *post-lunchdip* voert men vaak aan dat een goed gevuld spijsverteringskanaal rijk wordt doorbloed, ten koste van spieren en hersenen. Algemeen gelooft men dat een maaltijd slaperig maakt. Het merkwaardige is echter dat slaperigheid vooral na het middageten voorkomt, zelfs na een heel lichte lunch. De uren na het ontbijt is men juist erg alert en de eerste uren na het avondeten is de inslaapneiging minimaal, ook als de avondmaaltijd zwaarder is dan de lunch. Toen men bij vrijwilligers 's middags de inslaapnei-



5

De post-lunchdip

Psychologen verrichten al lang onderzoek naar hoe goed mensen geestelijk functioneren gedurende de dag, ondermeer om optimale roosters voor scholen te kunnen ontwerpen. Zo ontdekten ze al in het begin van deze eeuw, dat schoolkinderen 's middags wat trager rekenden dan op andere tijden van de dag (afb. 8). De variatie in de rekensnelheid bedraagt overdag niet meer dan vier procent,

ging met en zonder lunch ging meten, bleek er geen verschil. Bovendien, als men de lunch eerder, later of niet neemt, blijft er tussen 12 en 16 uur een daling in de prestaties optreden. Momenteel gaat men ervan uit dat de post-lunchdip vooral een uiting is van een biologisch twaalf-uursritme. Waarschijnlijk draagt het middagmaal zelf nauwelijks bij tot de slaperigheid, maar geloven de meeste mensen dat het een rol speelt, omdat de slaperigheid van het twaalf-uursritme steeds na de lunch komt.

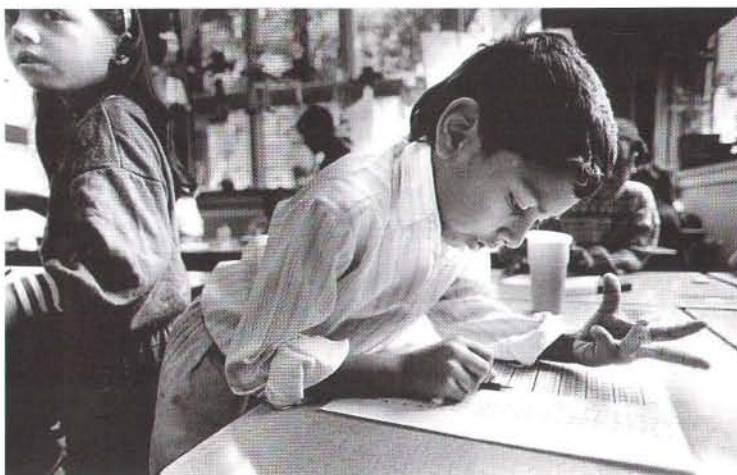
Jong en oud

Amerikaanse onderzoekers die de nachtelijke slaap van studenten in kaart wilden brengen aan de hand van slaapdagboeken, vroegen hun proefpersonen voor de volledigheid ook de middagdutjes te noteren. Eigenlijk hadden de onderzoekers verwacht dat die bijna niet zouden voorkomen. Uit de slaapdagboeken van grote groepen studenten bleek tot hun verbazing dat minstens de helft van de studenten eenmaal of vaker per week een middagdutje deed. 's Nachts sliepen deze studenten zes tot zeven uur, en 's middags nog een uur. De middagdutjes duurden zelden korter dan een kwartier of langer dan twee uur. Zou de normale slaap bij de mens niet monofasisch maar bifasisch zijn?

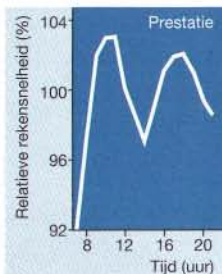
Een grotere inslaapneiging 's middags kan men ook in het laboratorium aantonen. Men kan proefpersonen vragen hoe slaperig ze zijn. De *subjectieve* slaperigheid is getoond in afbeelding 10a. De subjectieve slaperigheid overdag vormt een plateau met hooguit kleine variaties. Dat geldt voor ouderen en jongeren. Men kan ook de feitelijke inslaapneiging meten, door proefpersonen overdag op vaste tijdstippen naar bed te laten gaan. Daarbij krijgen de proefpersonen opdracht om in te slapen, of juist om wakker te blijven. Als de proefpersonen in een rustige, donkere kamer gaan liggen, doet het er niet veel toe of ze de opdracht krijgen om in te slapen of die om wakker te blijven: ze vallen in slaap of ze willen of niet. Dat inslapen gebeurt het snelst tussen 1 en 7 uur en tussen 14 en 16 uur. 's Avonds tussen half acht en half tien is de neiging om in slaap te vallen het kleinst (afb. 10b). Op de momenten van minimale inslaapneiging maakt het zelfs nauwelijks uit of de proefpersonen de opdracht krij-

Een voordracht in de middag

De grotere inslaapneiging 's middags ziet men ook bij voordrachten. De spreker zelf zal er weinig last van hebben: het houden van een voordracht is voor de meeste mensen zo nerveurend, dat het ze wel wakker houdt. Maar voor de toehoorders kan het lastiger zijn. Terwijl zij bij voordrachten 's morgens of in de eerste helft van de avond vanzelf wakker blijven, dreigt 's middags de slaap toe te slaan. Belangrijk is dat een spreker zich realiseert dat een voordracht 's middags een extra handicap is. Een geoefend spreker zal inspelen op de inslaapneiging. Het helpt al als hij de zaal zo licht mogelijk houdt en lange series dia's vermijdt. Verder zal hij proberen om zijn verhaal 's middags extra levendig en boeiend te maken. Toehoorders die blijven staan, blijven gemakkelijker wakker.

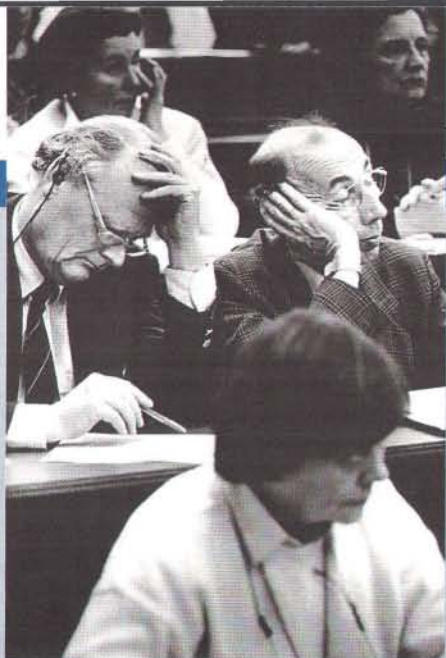


7



8

7 en 8. Tussen 12 en 16 uur rekenen schoolkinderen iets trager. Het verschil tussen maximale en minimale prestatie is klein (circa 4%), maar kwam bij verschillende onderzoeken tevoorschijn.



9

gen om in te slapen of juist om wakker te blijven. In beide gevallen bedraagt de inslaaptijd gemiddeld twintig minuten. Let wel, dit is de normale waarde voor de inslaapneiging van jonge, gezonde proefpersonen die geen last hebben van slapeloosheid 's nachts of extra slaperigheid overdag.

Zoals we eerder zagen vormt de inslaapneiging 's middags onder andere een serieuze bedreiging voor de verkeersveiligheid. Nu zou men in eerste instantie kunnen denken dat men hier geen last van heeft als men 's middags een dutje doet zodra men zich slaperig voelt. Het probleem is echter dat men zich

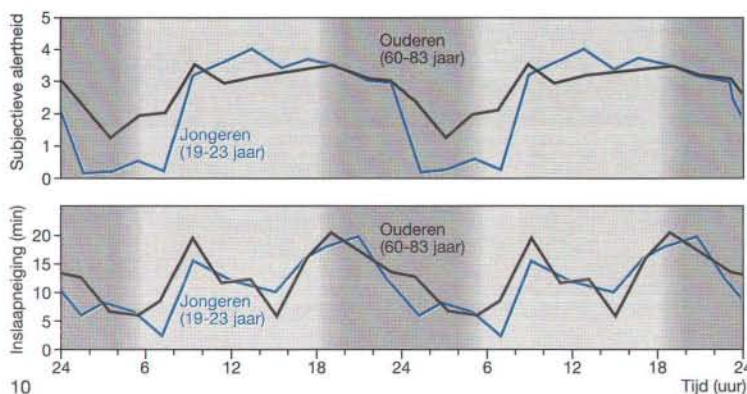
's middags vaak niet slaperig voelt, terwijl men (objectief) wel degelijk slaperig is, zoals afbeelding 10 laat zien. Kennelijk kunnen mensen hun eigen prestatievermogen soms moeilijk inschatten. Misschien is het – zeker voor ouderen – nog niet zo gek om elke dag een middagdutje te doen. Dat geldt vooral voor ouderen, aangezien zij 's middags veel vaker zijn betrokken bij auto-ongelukken door slaperigheid.

De waardering voor het middagdutje is aan mode onderhevig. De laatste jaren zien we, gesteund door de resultaten van wetenschappelijk onderzoek, de waardering ervoor groeien. Als mensen 's middags slaperig worden, is er weinig reden om hen een middagdutje te ontraden (behalve wanneer ze moeten werken). Het middagdutje kan een uitkomst zijn voor mensen die door de aard van hun werk in slaap dreigen te vallen terwijl dat riskant kan zijn, bus- of vrachtwagenchauffeurs bijvoorbeeld, of voor ouders van jonge kinderen die 's nachts vaak worden gewekt.

Bij patiënten met slaapproblemen 's nachts kan men niet zonder meer een middagdutje aanbevelen. Een aantal van deze patiënten zal 's nachts beter slapen, als ze hun middagdutje achterwege laten en 's middags bijvoorbeeld gaan wandelen. Het missen van een middagdutje is minder vervelend dan de slapeloosheid 's nachts.

Echte slaap?

Als mensen volledig van de buitenwereld worden geïsoleerd en geen enkele aanwijzing krijgen over de tijd, gaan zij uit zichzelf een re-



10. 's Middags is er geen toename in de subjectieve alertheid, maar wel in de objectieve inslaapneiging bij zowel ouderen als jongeren. Ondanks dat we ons in de middag vaak niet slaperig voelen, zijn we zo vertrokken wanneer we dan in bed kruipen.

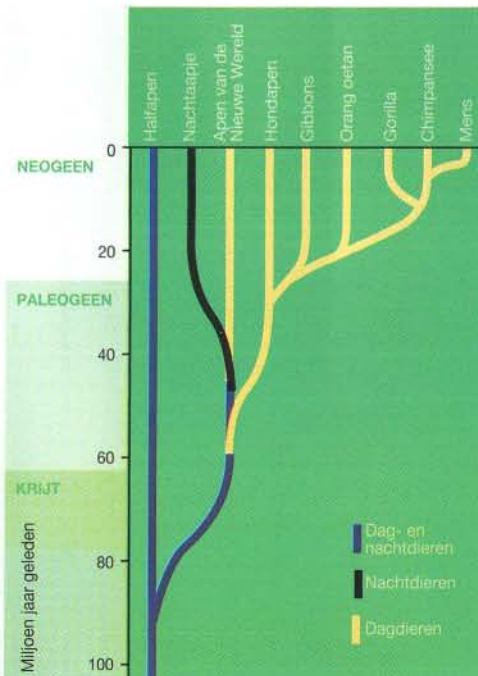
gelmatig activiteitsritme vertonen met een periodeluur van ongeveer $24\frac{1}{2}$ uur, het zogenaamde *circadiane ritme*. Meestal loopt het slaap-waakritme daarbij in de pas met het temperatuursritme, maar soms niet. Soms vertonen mensen in tijdsisolatie een slaap-waakcyclus van vijftien uur of korter en soms zelfs van veertig uur of langer. Desondanks blijft het temperatuursritme doorgaan met een cycluseduur van $24\frac{1}{2}$ uur. Omdat in één persoon het temperatuurs- en het slaap-waakritme niet langer gesynchroniseerd verlopen, spreekt men van *interne desynchronisatie*.

In tijdsisolatie-experimenten kregen de proefpersonen aanvankelijk de opdracht om niet te dutten, omdat de onderzoekers dachten dat dutjes het normale slaap-waakritme zouden verstoren. Pas na 1980 is men ook de invloed van dutjes gaan bestuderen. Mensen in tijdsisolatie die mogen dutten, vertonen geen interne desynchronisatie meer. Door een middagdutje blijven de temperatuurs- en slaap-waakklok beter op elkaar afgestemd. Kennelijk is het middagdutje bij de mens onderdeel van het normale slaap-waakgedrag.

De meeste mensen gaan er automatisch van-



12



11

uit dat het middagdutje echte slaap is. Maar een wetenschapper moet zich afvragen of dat wel zo is. Hoe bepaal je of een periode van stilliggen met weinig reacties op prikkels wel 'echte' slaap is. Er is een objectieve manier om echte slaap vast te stellen: het elektro-encefalogram of EEG. Tijdens de slaap vertoont het EEG een uniek patroon van hersengolven, dat tijdens waken niet voorkomt. Aan de hand van het EEG kunnen we ook zien of iemand in lichte slaap verkeert (stadium 1 en 2), in diepe slaap (slow wave sleep, stadium 3 en 4) of in droom-slaap (REM-slaap). Ook tijdens middagduttjes vertonen mensen de normale slaapstadia in de gebruikelijke volgorde. In het middagdutje komen mensen eerder in diepe slaap dan wanneer ze 's ochtends of in het begin van de avond gaan dutten. Als het middagdutje lang genoeg duurt, vertonen de meeste slapers ook REM-slaap, al kunnen slechts weinigen zich hun droom herinneren.

Maar er is meer. Tijdens de nachtelijke slaap worden bepaalde hormonen afgegeven aan het bloed. Vermoedelijk hebben deze hor-



11, 12 en 13. Volgens de huidige opvatting over de afstamming van mens en mensapen is de chimpansee (12) het meest verwant met de mens. Als het even kan, doet hij graag een middagdutje; een voorkeur die hij overigens deelt met alle 'echte' apen en mensapen, inclusief de mens.

onderzocht is als het middagdutje. Om aan te tonen dat een dier tijdens rust in de middag echt slaapt, moet je zijn EEG afleiden. Maar helaas zijn er maar weinig van dergelijke EEG's beschikbaar. Bij nogal wat EEG-onderzoek bij apen, maakte men de dieren die overdag gingen dutten wakker, omdat men dacht dat het middagdutje de normale nachtslaap verstoort. Toch valt er wel wat te zeggen over middagdutjes bij dieren.



13

monen te maken met de functie van slaap – waardoor slaap zo verkwikkend kan zijn en waarom slaap onmisbaar is. Vooral groeihormoon is interessant. Het wordt door de hypothyse afgegeven bij een te lage bloedsuikerspiegel, in aanwezigheid van koortsverwekkende stoffen, bij stress en vooral tijdens de slaap. Ook tijdens het middagdutje komt er een grote hoeveelheid groeihormoon in het bloed terecht. Het middagdutje kunnen we dus ook in dit opzicht als echte slaap betitelen.

De evolutie van slaap

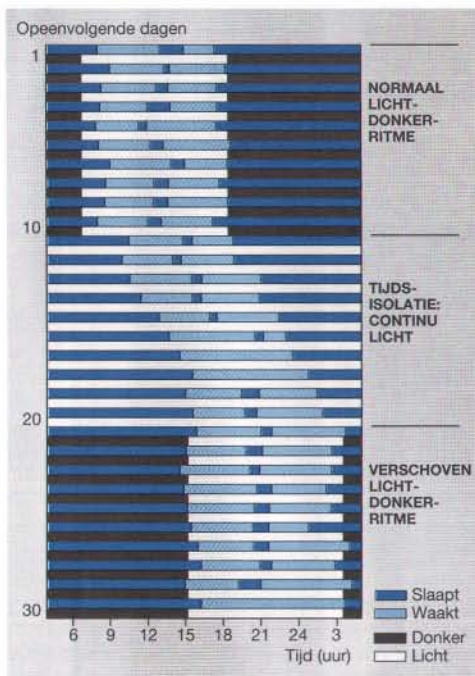
Evolutionaire verklaringen voor verschijnselen zijn vaak nogal speculatief. Dat geldt zeker voor een verschijnsel dat nog zo weinig

Om wat meer over het ontstaan van middagdutjes te begrijpen, moeten we de middagslaap zien in het totale slaappatroon. Afbeelding 11 geeft een stamboom van halfapen, apen en mensapen, met daarin gegevens over hun slaappatroon. Algemeen worden de halfapen als het meest 'primitief' beschouwd. Onder de halfapen vinden we zowel dag- als nachtdieren. De 'echte' apen zijn allemaal dagdieren, op één uitzondering na, het nachtaapje uit Zuid-Amerika. We mogen er veilig vanuit gaan, dat de echte apen zich al minstens veertig miljoen jaar geleden specialiseerden tot echte dagdieren.

Apes zijn typisch dieren van de (sub)tropen, waar door het jaar heen een voorspelbaar licht-donkerritme heerst van twaalf uur dag en

twaalf uur nacht met een erg korte schemering. Op het einde van de middag trekken apen zich terug voor de nacht; mensapen maken dan een slaapnest. Gedurende de nachtelijke uren hebben apen een periode van inactiviteit. Hoewel ze het grootste deel van die periode slapen, zijn ze tijdens de nacht in totaal ook twee tot drie uur wakker. Bij apen is de slaap in kort perioden verdeeld.

Overigens is het aannemelijk dat dit ook het



14

natuurlijke slaappatroon van onze voorouders was. Daar kwam wellicht een eind aan met de beheersing van het vuur, en zeker met de uitvinding van het elektrische licht. Het natuurlijke patroon zou dan bestaan uit een twaalf-uursperiode van inactiviteit van 6 uur 's avonds tot 6 uur 's ochtends, met daarin zo'n negen à tien uur slaap. De westerse mens komt toe met een kortere slaap dan de mensapen en met een veel kortere nachtrust. Daar staat tegenover dat de slaap bij de mens veel minder wordt onderbroken door periodes van wakker zijn.



15

Duttende apen?

Hoe is het middagdutje in de loop van de evolutie ontstaan? Ik denk dat het middagdutje een recente (nou ja, pakweg veertig miljoen jaar jonge) uitvinding is bij apen, sinds ze zich als dagdier specialiseerden.

Een rustperiode gedurende de hete middaguren is in de tropen normaal voor veel apen. Zitten die apen dan gewoon stil in de schaduw, of slapen ze echt? Om deze vraag te beantwoorden, moet je bij apen EEG-elektrodes en een radiozender aanbrengen, zodat je met zekerheid kunt vaststellen of ze in hun natuurlijke milieu echt slapen tijdens de siësta. Dergelijk onderzoek is moeilijk, maar het is uitgevoerd bij rhesusapen en bavianen. Inderdaad komt in de middag (tussen 13 en 17 uur) echt slapen relatief vaak voor bij deze apen. Ondanks een nachtelijke rustperiode van twaalf uur, met daarin negen à tien uur slaap, doen deze apen vaak een echt middagdutje.

Komt het middagdutje van apen van binnenuit, of maakt de omgeving, bijvoorbeeld de hitte 's middags, slaperig? Uit onverwachte hoek zijn er aanwijzingen gekomen dat het middagdutje minstens gedeeltelijk van binnenuit komt. Men registreerde bij een chimpansee gedurende vele dagen het EEG. De chimpan-



14. Dit slaap-waakpatroon van een chimpansee werd vastgesteld aan de hand van een EEG. Gedurende tien dagen met een normaal ritme (licht aan tussen 6 en 18 uur) vallen de middagdutjes rond 13 uur. Tijdens de tijdsisolatie gedurende de tien daaropvolgende dagen 'schuift' het slaap-waakritme, inclusief middagdutjes, over de klokke-tijd heen. Wanneer vervolgens het licht aan is tussen 14.30 en 02.30 uur, houdt de chimpansee zijn dutje rond 19.30 uur.

15. Het nachtaapje is de enige vertegenwoordiger van de 'echte' apen die 's nachts actief is. Zijn enorm grote ogen zijn een aanpassing om 's nachts zoveel mogelijk licht op te vangen.

see was gehuisvest in een verduisterde ruimte waar tussen 6.00 en 18.00 uur het licht aan was. Hij deed steeds een middagdutje rond 13.00 uur (afb. 14). Nu zou men nog kunnen opperen dat dit het gevolg was van extra rust rond zijn kooi, aangezien zijn verzorgers rond dat tijdstip lunchten. Maar dat bleek geen afdoende verklaring. In tijdsisolatie, waarbij het licht continu brandde en iedere tijdsindicatie ontbrak, verschoof het slaap-waakritme van de aap geleidelijk. Na tien dagen tijdsisolatie sliep de chimpansee tussen 2.30 en 14.30 uur en deed hij zijn 'middagdutje' rond 19.30 uur.

Dit toont aan dat het middagdutje bij deze chimpansee echt van binnenuit kwam. De chimpansee is als naaste verwant van de mens een interessant proefdier. Volgens de huidige inzichten is de chimpansee nauwer verwant met de mens dan met de gorilla of orang oetan.

Aangezien mensen 's nachts korter slapen dan de mensapen, dacht men aanvankelijk dat mensen middagdutjes doen om de gemiste slaap in te halen. Dat kan echter niet de volledige verklaring zijn. Apen doen immers, ondanks hun langere slaap, toch een middagdutje. Waarschijnlijk is het middagdutje bij de mens een overblijfsel van onze vroege evolutie in de tropen; aanvankelijk als reactie op de middaghitte, later als aangeboren neiging om ook 's middags een uiltje te knappen.

Als alle sociale verplichtingen wegvallen, hebben mensen een slaap-waakritme met twee episodes van verhoogde inslapneiging per etmaal. Er is per etmaal een lange en een korte periode van slaap. De siësta is weliswaar vooral een cultureel verschijnsel, maar heeft wel degelijk een biologische grondslag. In siëstalanden, maar ook in onze cultuur, zien we in het slaapgedrag van mensen wel grote individuele verschillen. Sommigen hebben iedere middag een onweerstaanbare slaperigheid – ze 'moeten' een dutje doen – terwijl anderen die behoefte nooit voelen. Of men 's middags aan de slaapbehoefte toegeeft, ligt ook aan de omgeving: is een middagdutje mogelijk, bijvoorbeeld gezien het werk, en wordt een siësta sociaal gestimuleerd of juist tegengewerkt? De neiging om in de middaguren in te slapen is echter bij iedereen aanwezig.

Literatuur

- Een eerdere versie van dit artikel is verschenen in *Janssen Medisch-Wetenschappelijk Nieuws* 1992; 7: 261-266; daar vindt u meer literatuurverwijzingen. Dat artikel maakt deel uit van het boek *Waken en slapen* dat zojuist is verschenen in de serie Janssen MediDisk®.
- Dinges DF. The influence of the human timekeeping system on sleep. In: Kryger MH, Roth T, Dement WC. Principles and practice of sleep medicine. Philadelphia: W.B. Saunders, 1989, pag. 153-162.
- Dinges DF, Broughton RJ, red. Sleep and alertness: Chronobiological, behavioral and medical aspects of napping. New York: Raven Press, 1989, pag. 247-265.

Bronvermelding illustraties

- Hollandse Hoogte, Amsterdam: pag 504-505 (Chris Pennarts), 1 (Leo van der Noort), 7 (Peter Hilz) en 9 (Walter Herfst)
- ANP-foto, Amsterdam: 3
- ABC-press, Amsterdam: 4
- M.N. Verbaten, Faculteit der Farmacie, Universiteit Utrecht: 6
- Herman en Ans Rijkse: 12
- J.M. de Jager, Elburg: 13
- Frans van Bommel, Diergaarde Blijdorp, Rotterdam: 15

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir S. Rozendaal.

SIMON ROZENDAAL

GROF GEWELD

Het TNO-laboratorium Ypenburg: welkom in de wonderbaarlijke wereld der ballistiek

Op het voormalige militaire vliegveld Ypenburg bevindt zich een van de meest opmerkelijke laboratoria ter wereld. Het ligt op een steenworp van het Prins Claus-verkeersplein, maar al die duizenden automobilisten die langs Den Haag rijden, merken niets van de enorme explosies die hier schering en inslag zijn. Toch kan de ontploffing van vijftientwintig kilo springstof trommelvliezen doen scheuren en auto's in de lucht blazen.

De verklaring is dat de explosies in een afgeschermd en speciaal geconstrueerde ruimte geschieden. Het is een schietbunker van het ballistisch laboratorium van TNO. In de grote bunker kunnen granaten tot 76 millimeter worden afgeschoten. Om deze granaten af te stoppen, is pantserstaal van een meter dik noodzakelijk. Het is het soort granaten waarmee scheepsgeschut is geladen; tanks schieten met nog zwaardere granaten, van 120 mm.

Natuurlijk wordt er in veel landen geoefend met zware granaten, ook voor onderzoeksdoeleinden, maar doorgaans worden die in de open lucht afgeschoten. Het laboratorium op Ypenburg is vermoedelijk het enige ter we-

reld waar zulke zware granaten binnen kunnen worden afgeschoten. E.J.M. van Riet, hoofd van het laboratorium, heeft nog nooit gehoord dat er ergens anders in de wereld iets vergelijkbaars is, maar helemaal zeker is hij niet. "Houd het maar op een van de weinige in de wereld."

Vulkaankrater

Het laboratorium is drie jaar geleden verhuisd van het Prins Maurits Laboratorium TNO in Rijswijk, waar het nog wel onder ressorteert. Van Riet: "De testfaciliteit in Rijswijk werd te klein, we wilden naar zwaardere kaliber."

In het laboratorium zijn twee bunkers; de eerder genoemde grote bunker plus een kleine waar pistool- en geweerkogels (tot 25 mm kaliber) worden afgevuurd. De bedoeling van het onderzoek is het effect van de diverse munities op verschillende materialen uit te testen en tevens de beste bescherming te vinden. De meeste mensen die graven van het geweld dat schietwapens aanrichten, staan er niet bij stil dat er op het gebied van de munitie de afgelopen decennia grote technische veranderingen hebben plaatsgehad. Vanzelf-

sprekend moeten allerlei beschermende materialen daar weer bij worden aangepast. TNO test die materialen, in opdracht van het ministerie van Defensie, maar ook van diverse bedrijven. Niet altijd hoeft dat militair onderzoek te zijn. Zo onderzoekt het laboratorium ook hoe aan het eind van de levensduur van een halogeenlamp, wanneer die lamp de neiging heeft te exploderen (de producent brengt daarom een beschermende laag aan), de scherven zich verspreiden.



Maar meestal heeft dat onderzoek wel met de wereld van kogels en kalibers te maken. Die wereld evolueert bij voortduring. Zo schiet de politie in veel landen tegenwoordig met een 9 mm stopkogel. Eigenlijk is dat een gruwelijk ding. De stopkogel heeft geen ronde punt, maar een soort vulkaankrater als uiteinde. De stopkogel oogt weliswaar betrekkelijk gewoon, maar dat komt omdat er een plastic dopje op de kogel zit. Bij de hoge snelheid van de kogel (al gauw zo'n 400 meter per seconde) wordt dat dopje weggerukt en komt de vulkaankrater tevoorschijn. Wanneer zo'n kogel inslaat en tegenstand ontmoet, krijgt hij een paddestoelachtige vorm en kan wel twee keer zo breed worden – ongeveer twee centimeter. Daardoor draagt de kogel meer kinetische energie af.

Sommige projectielen bereiken via een 150 meter lange 'loop' de bunker van het TNO-laboratorium op Ypenburg. In die bunker kan de uitwerking van kogels en granaten nauwkeurig worden bestudeerd.

TNO onderzoekt ondermeer de bescherming van de Nederlandse VN-militairen in voormalig Joegoslavië. (foto's: Prins Maurits Laboratorium, TNO)

De stopkogel is in de plaats gekomen van de 9 mm *para-bellum* (meestal gewoon para genoemd). Deze kogel vliegt vaak dwars door het lichaam

heen en staat ruwweg maar de helft van zijn kinetische energie (net als bij de stopkogel zo'n 600 joule) af.

De vergroting van de energieoverdracht zorgt ervoor dat iemand die door de stopkogel wordt geraakt, meestal neerstort – dood danwel ernstig verwond. Voor de politie is dat, hoe bloederig het klinkt en is, de bedoeling. Van Riet: "De politie schiet meestal pas wanneer iemand werkelijk moet worden uitgeschakeld." Wat dergelijke kogels precies doen, kan alleen maar door onderzoek worden uitgevonden. Dat is het bestaansrecht van laboratoria zoals op Ypenburg en van het politielaboratorium in Apeldoorn. Zo onderzoekt het TNO-laboratorium een vergelijkbare munitieverandering in het leger. Een 7.62 mm kogel is nu gangbaar, maar het is de bedoeling dat de NAVO met een 5.56 mm kogel gaat schieten. Daarbij gaat de snelheid van de kogel omhoog – van zo'n 800 meter per seconde voor de oude naar 950 voor de nieuwe, kleine kogel.

"De politie schiet pas wanneer iemand werkelijk moet worden uitgeschakeld"



Een belangrijke vraag is wat er bij de inslag van de nieuwe kogel in het lichaam gebeurt. Gaat de kogel tuimelen, breekt hij in stukjes? Ook was er de angst dat de snelle kleine kogel een schokgolf in de bloedbaan teweeg zou kunnen brengen. Als dat zou optreden, dan is het mogelijk om iemand te doden door hem bij wijze van spreken in zijn grote teen te schieten. Dat is middels internationale afspraken (de conventie van Genève) verboden. Uit ballistische onderzoeken, ondermeer op Ypenburg, is overigens gebleken dat de nieuwe kogel dat effect niet vertoont. Van Riet: "Dan moet je

men ziet van de inslag van een kogel in zo'n blok gelatine, voelt de maag samentrekken.

Een van de opvallende aspecten trouwens is, dat er bij inslag van een kogel een grote wondholte, van wel tien tot vijftien centimeter, ontstaat. Gedurende een *split-second* wordt zo'n blok gelatine (van 15 bij 15 bij 30 centimeter) wel tweemaal zo groot. Dit explosie-achtige effect treedt op wanneer de kogels een snelheid van boven de driehonderd meter per seconde hebben.

Van Riet weet dat zo precies omdat op Ypenburg onlangs is onderzocht wat het effect

voor is de snelheid van de pijlen, enkele tientallen meters per seconde, te laag.

V50-waarde

De inslag van kogels en granaatscherven wordt in de kleine bunker gefotografeerd met een high-speed- en een röntgencamera. De röntgencamera is nodig omdat men dan onafhankelijk van lichteffecten en rook (die bij granaatexplosies kunnen optreden) kan observeren wat er bij inslag van een projectiel gebeurt. Een high-speedcamera kan twee miljoen foto's per seconde maken, maar op Ypenburg vindt men een foto-snelheid van 500 000 per seconde ruim voldoende. Bij die snelheid worden acht beelden genomen en die beelden worden vervolgens weer in een computer vastgelegd. De snelheid van projectielen wordt met een ingenieuze dopplerradar bepaald. Het apparaat is voor dit doel door TNO ontwikkeld. Binnenin is een ruimte uitgespaard waar de kogel, die vanaf een vast punt machinaal wordt afgeschoten en dus een vaste baan volgt, doorheen vliegt. Vervolgens wordt de kogel van achteren beschenen door een via spiegels gerichte laserstraal. De straal wordt teruggekaatst en gemeten en aldus weet men de snelheid.

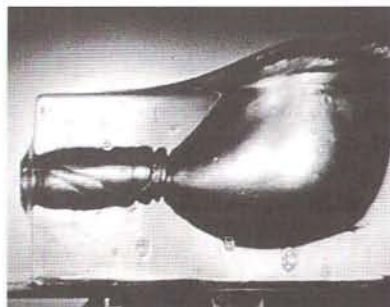
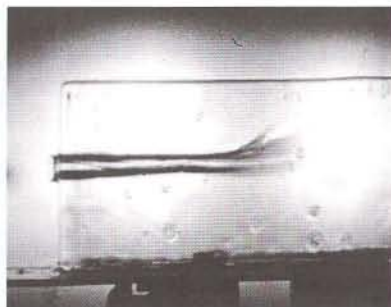
Niet alleen van kogels wordt

Wie in de grote bunker van Ypenburg rondloopt, kan zich iets van de gruwelen van de moderne oorlog voorstellen

klaarblijkelijk nog hoger zitten dan 950 meter per seconde."

In Nederland mag niet op levende (verdoofde) dieren worden geschoten, zoals in veel andere landen (waaronder Zweden). Daarom schiet men op een dood alternatief, dat het levende spierweefsel zo goed mogelijk benadert: blokken gelatine. Ook dat laat overigens weinig te raden over. Wie high-speedopna-

van een kruisboog is. Er was in Nederland enige verontrusting ontstaan, omdat er sprake is dat criminelen zouden werken met de kruisboog (die niet onder de wapenwet valt en vrij te koop is) en op de pijlen scheermesjes zouden bevestigen. Uit high-speedopnamen bleek dat dergelijke pijlen wel door een blok gelatine snijden, maar geen sterke vergroting van het wondvolume bewerkstelligen. Daar-





Ed van Riet. Voor hem ligt een doorgezaagd stuk pantserstaal van een meter dik. Een projectiel ging er dwars doorheen. (foto: Hans Hordijk/Hollandse Hoogte, Amsterdam)

de inslag gevolgd, maar ook van granaatfragmenten. Dat is moeilijk na te bootsen, want granaatscherven zijn er in alle soorten en maten en vliegen alle windrichtingen uit. Daarom is in internationaal verband afgesproken dit soort onderzoek met *fragment simulating projectiles* (FSP's) te doen, een soort kleine kogeltjes. Meestal wordt met een FSP van een gram gewerkt, aanzienlijk lichter dan een kogel (die veelal zes gram weegt). Van Riet: "Scherven van één gram komen het meest voor bij de explosie van een granaat." Een van de meest gebruikelijke onderzoeken die het la-

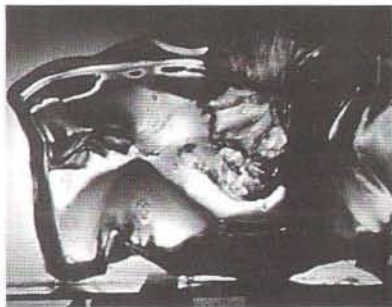
boratorium uitvoert, is het nagaan van de ballistische bescherming van een bepaald materiaal tegen een bepaalde kogel. Zo heeft het laboratorium onlangs geadviseerd over de vesten die het Nederlands leger in Joegoslavië draagt. Uiteindelijk werd geadviseerd voor een zwaar vest, van twaalf kilo. Veel zwaarder dan het normale militaire vest van drie kilo, dat slechts bescherming tegen granaatscherven biedt. Van Riet: "Joegoslavië is dan ook geen normale oorlog. Daar wordt veel meer met kogels dan met granaten geschoten." Zo worden er 7.62 *armour-piercing*-kogels afgevuurd

vanuit Kalasnikov-machinegeweren. Dergelijke kogels hebben een wolframpuntje en kunnen slechts worden gestopt met 12 millimeter pantserstaal.

Om de kwaliteit van beschermende vesten te bepalen, wordt de ballistische limiet-snelheid gemeten, de V50-waarde. Dat is de snelheid van een kogel die net wel, net niet door een materiaal heen komt. Om deze waarde te kunnen bepalen, heeft Van Riet zes waarnemingen nodig. De hoogste en laagste snelheid mogen maar veertig meter per seconde uitelkaar liggen. Bij de hoogste drie snelheden moet de kogel door het materiaal heen gaan, bij de laagste drie erin blijven steken. Het gemiddelde van die snelheden is de V50-waarde.

Er wordt overigens meestal vanuit een 'kruitversneller' geschoten, een buis waar de afgewogen hoeveelheid kruit plus de kogel of FSP in worden geplaatst.

Aldus bepalen Van Riet en zijn twaalf medewerkers bijvoorbeeld de V50-waarde



Een blok gelatine lijkt genoeg op spierweefsel om er de inslag van een kogel in het lichaam aan te onderzoeken. (foto's: PML-TNO)

van een scherfwerend vest voor het leger. Een gangbare V50-waarde voor zo'n vest is bijvoorbeeld 500 voor een ééngram FSP-scherfje. Dit geeft aan dat een granaatscherf van 1 gram en een snelheid van 500 meter per seconde nog net wordt afgeremd door zo'n vest.

Naar kleinere scherven werd in het verleden meestal niet gekeken. Daar begint verandering in te komen omdat het inzicht doorbreekt dat hele kleine fragmenten vaak vervelend ongemak op het slagveld kunnen veroorzaken. Van Riet: "Als een soldaat

worden in een speciale constructie rond het schietblok opgevangen, maar dan nog zijn de dikke betonmuren zwaar puisterig van de beschadigingen. Er hangt een doordringende kruitgeur en de deuren (de zwakke plek in de betonconstructie) zijn niet alleen dik vergrendeld, maar er staat buiten ook nog eens een betonnen muur voor. De bunker zelf is een meter dik en de bewapening is cilinder-vormig aangebracht om de schokken op te vangen. Kortom, een atmosfeer van grof geweld.

De bunker is zestig meter

en waar het dus gaat om een zo hoog mogelijke snelheid. En een ander waarbij de chemische energie van de munitie vooropstaat.

Kinetische projectielen, afgeschoten met kruit, kunnen maximaal een snelheid van 1600 tot 1700 meter per seconde bereiken. De projectielen met chemische lading worden veelal uit een soort holle buis afgeschoten – vroeger *bazooka*, tegenwoordig *stinger* of *dragon* geheten. Aan het projectiel zit een elektrisch snoetje om het in de juiste richting te sturen. Bij het treffen van het doel krijgt het koperen binnenste van de granaat door de explosie een enorme extra snelheid. Aldus kan een stukje koper, met een snelheid van acht kilometer per seconde, een meter dik pantserstaal doorboren. Van Riet: "Het staal wordt gewoon vloeibaar. Dat koper zachter dan staal is, speelt geen rol. Bij zo'n snelheid kan zelfs een prop papier pantserstaal doorboren." Van Riet toont het effect. Een stapel blokken van pantserstaal van een meter waar inderdaad een dunne gang in is gevreten.

Een van de onderzoeken waar Ypenburg zich over buigt, is de mogelijkheid van een lichtgewicht pantser door zes à zeven millimeter keramiek (aluminiumoxide – niet dat dit de sterkste keramiek is, maar wel een van de goedkopere soorten) te gebruiken. Weliswaar breekt aardewerk heel makkelijk, maar het vormt moeilijk; het verspreidt een puntbelasting zoals het in jargon heet. Als het aardewerk stevig vast is gelijmd, is het niet makkelijk om er doorheen te komen.

De gangbare bescherming tegen springstofprojectielen wordt geboden door explosief staal (ERA, *explosive reactive*

een splinter in zijn oog krijgt, gaat hij wrijven en stopt met zijn taak." Daarom worden militaire veiligheidsbrillen op dergelijke fragmenten getest. Ook willen de minuscule scherfjes nog wel eens door de grove mazen van de vesten heen glippen.

Tandem-granaat

Wie in de grote bunker van Ypenburg rondloopt, kan zich iets van de gruwelen van de moderne oorlog voorstellen. De scherven van de explosies

lang. Voor sommige projectielen is dat echter te kort. Die komen met een draaiende beweging uit een kanonsloop en bereiken pas na enige tijd een stabiele baan. Daarom is er voor de bunker een pijp van 150 meter aangelegd zodat ook dergelijke 'effect'-projectielen kunnen worden getest. Een bizar gezicht, zo'n loop van honderdvijftig meter.

Zware munitie blijkt er in twee uitvoeringen te zijn. Eén waarbij de kinetische energie van het projectiel essentieel is

High-speedopnamen brengen elke inslag stap voor stap in beeld. (foto: PML-TNO)



armour). Dit is staal waar explosieven op zijn bevestigd die afgaan wanneer er een granaat op komt. Daardoor ontstaat een tegenkracht die de doordringing van het projectiel in het staal vermindert. Israëls tanks zijn als eerste met dergelijk explosief staal uitgerust – de NAVO-tanks nog niet.

Een mogelijk antwoord daarop is overigens ook al weer gevonden: tandemprojectielen, met twee explosies na el-

kaar. Een fraaier illustratie dat de voortdurende wapenontwikkeling de grenzen tussen agressie en defensie doet vervagen, is moeilijk denkbaar.

Eerst waren er kanonnen, toen kwamen de pantser-tanks, vervolgens de bazooka's, daarna de explosieve pantserwapening en dan straks weer het tandemprojectiel. Een extra bescherming leidt ogenblikkelijk tot een extra aanval. Enzovoorts,

want tegen een tandemaanval kan dan weer een dubbel-explosieve verdediging worden ontworpen.

De enigen die werkelijk wijzer van zo'n wedloop worden, zijn de producenten van al het wapentuig, de *merchants of death*.

DE GENENCULT

Dorothy Nelkin vindt dat de invloed van de erfelijkheid wordt overschat

Nobelprijswinnaar Walter Gilbert haalt een compactdisc uit zijn binnenzak. "Dit bent u! Alle informatie over u staat op dit schijfje." De zaal is stil, onder de indruk. De spreker heeft de aandacht van zijn publiek en kan de ingewikkelde subtiliteiten uiteenzetten van de Human Genome Organisation (HUGO), het grootschalige onderzoek dat het totale menselijk genoom in kaart brengt. Tegelijkertijd is de functie van het gen als dé zetel van de persoonlijkheid nadrukkelijk onderstreept. In vroeger tijden stonden de lever, het hart of de hersenen als zodanig bekend. Nu wordt het DNA-molekuul alom gezien als de essentie van het menselijk bestaan.

Wetenschappers, journalisten en het grote publiek zijn het erover eens: het gen bepaalt de mens. Het lijkt een onomstotelijke conclusie van de

moleculaire biologie en de genetica. Maar is deze rol van het gen wel zo'n hard natuurwetenschappelijk feit?

"Nee", zegt Dorothy Nelkin, hoogleraar sociologie en rechten aan New York University. "We hebben al vaak tegen Walter gezegd dat hij dat schijfje in zijn zak moet houden, omdat hij zo de ver-

keerde associaties wekt. Maar ja, het bloed kruipt waar het niet gaan kan."

Dorothy Nelkin is lid van The National Advisory van het menselijk-genoomproject en is een van de centrale figuren in het onderzoek naar de sociale en ethische aspecten van de genetica. Op instigatie van Jim Watson, de man van de

Ligt onze
persoonlijkheid
al bij de geboorte
vast?
(illustratie:
Reinhold Löffler,
Dinkelsbühl, D)



dubbele DNA-helix en voormalig directeur van HUGO, wordt tussen de drie en de vijf procent van het onderzoeksbudget gereserveerd voor sociaal-wetenschappelijk onderzoek. Nelkin: "Watson wilde ermee voorkomen dat HUGO dezelfde problemen zou krijgen als het onderzoek naar kernenergie. Door bijtijds maatschappelijk debat en onderzoek te organiseren wordt een blokkade in de samenleving voorkomen, zo is de redenering."

Voor sociologen, historici en juristen is het beschikbare budget een enorm bedrag. Bovendien is de projectleiding van HUGO niet kinder-

achtig. Ook critici van het huidige denken in de genetica, zoals Evelyn Fox Keller, worden gefinancierd. Nelkin: "Je moet wel een goed onderzoeksvorstel hebben, maar er is geen sprake van inmeniging, integendeel. Ik hoef zelfs geen jaarverslag in te dienen!"

Nelkin doet op dit moment onderzoek naar de beeldvorming in de media van het genetisch onderzoek. Volgens haar wordt de macht van het gen systematisch schromelijk overschat. "Alles wordt toegeschreven aan ons erfelijk materiaal, vooral in de Amerikaanse pers." Zo publiceerde de *New York Times* gedu-

rende de afgelopen drie jaar 416 artikelen waarin aan de chromosomen de meest uiteenlopende eigenschappen worden geweten. Geneigdheid tot verslaving, criminaliteit, verlegenheid, een geslaagde carrière, homoseksualiteit, levenslust, psychische problemen, giechelen en ondernemingszin, het zit allemaal in de genen.

Nelkin: "Verwijzing naar de genen maakt andere verklaringen overbodig." Vooral het menselijk gedrag en onze persoonlijkheid trekken de aandacht. Het zwaartepunt van het genetisch onderzoek, oorzaak en werking van erfelijke ziekten, wordt slechts zijdelings belicht. "Het idee dat je gedrag erfelijk is bepaald, is voor de meeste mensen de belangrijkste uitkomst van de genetica", aldus Nelkin.

De persoonlijkheid zou dus al bij de geboorte vastliggen. De film *Tainted Blood* wordt bijvoorbeeld aangeprezen onder het motto *Some girls are born smart. Some girls are born beautiful. Some girls are born killers*. De vorige president Bush kreeg te horen dat hij te weinig 'empathiegenen' had. Populaire *how to*-boeken over de opvoeding raken doordrongen van de gedachte dat elke karaktertrek een gen heeft. Extroverten zouden worden geboren en niet gemaakt. Nelkin: "Het stereotype Amerikaanse *can do*-optimisme is aan het verdwijnen."

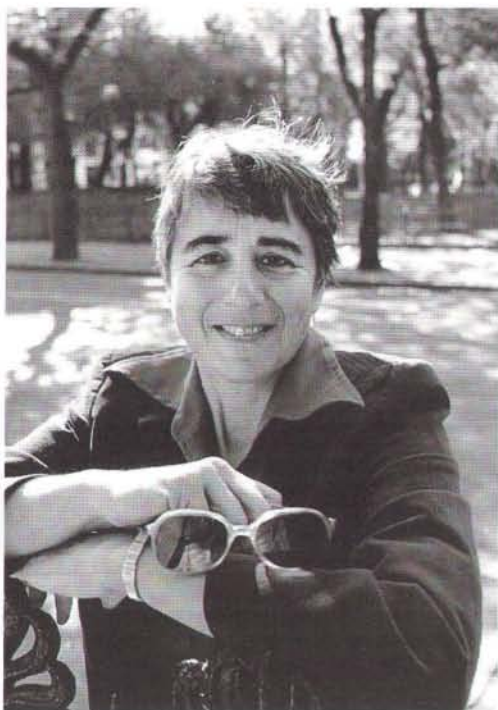
Genogram

De pers speelt een actieve rol in het verbreiden van het nieuwe dogma. Het onderzoek dat de genetische basis van de persoonlijkheid zegt te hebben aangetoond – het befaamde Minnesota-onderzoek naar identieke tweelingen –



Watson en Crick ontken- den met de ont- dekking van de dubbele helix de 'DNA-rage'. (foto: Cold Spring Harbor Laboratory Archives, VS)

Dorothy Nelkin (foto: New York University, VS)



tal nieuwe boeken in de VS over genealogie verdubbelde gedurende de jaren tachtig.

In 1987 vatte Daniel Koshland, hoofdredacteur van het gezaghebbende weekblad *Science*, de trend samen: de oorlog tussen *nature* en *nurture* is door de natuur gewonnen. Dorothy Nelkin ziet deze ontwikkeling als het opnieuw dóórslaan van een ingewikkeld debat. "In de jaren zeventig overheerste de extreme opvatting dat alles door de omgeving zou worden bepaald. Nu is het een en al erfelijkheid dat de klok slaat."

Volgens Nelkin kan deze wijdverbreide opvatting niet worden gebaseerd op de genetica. "Natuurlijk heb ik bruine ogen vanwege mijn genen. En een behoorlijk aantal ziekten wordt ook door DNA bepaald. Maar door- gaans is er geen sprake van duidelijke causale relaties.

Geneigdheid tot verslaving, criminaliteit, verlegenheid, een geslaagde carrière, homoseksualiteit, levenslust, psychische problemen, giehelen en ondernemingszin, het zou allemaal in de genen zitten

werd al uitvoerig in de mas- samedia als belangrijke nieu- we doorbraak gevierd, toen het in de beoordelingsproce- dure van het blad *Science* nog hevig onder vuur stond. Nel- kin: "Het was nog helemaal niet duidelijk of *Science* dat onderzoek wel zou publice- ren, toen de onderzoekers een persconferentie organiseerden om hun claims wereldkundig te maken. Hun resultaten sloten blijkbaar aan op een al aanwezige trend."

De genencult gaat gepaard aan een hernieuwde bezorgd- heid om de kwaliteit van de menselijke genenvoorraad. De stripserie *GENagents* te- kent in de stijl van *Spiderman* de bloedstollende belevenis-

sen van de jacht op het alles- bepalende genetisch materi- aal. Het blijft niet beperkt tot sciencefiction. In 1971 werd een genenbank van Nobel- prijswinnaars opgericht. In- middels heeft deze zijn voor- raden uitgebreid met sperma van beroemde sportlieden en succesvolle zakenmensen. In Palo Alto functioneert een tweede spermapank waarvoor alleen hoogleraren aan de Stanford-universiteit mogen doneren. Tijdschriften advise- ren gezinnen om 'genogram- men', genetische stambomen, te maken, zodat ze mogelijke ziekten en afwijkingen van hun kinderen kunnen voor- zien. Stambomen zijn overi- gens sowieso erg in: het aan-

Van de meeste eigenschappen en van het menselijk gedrag weten we in het geheel niet wat de oorzaken zijn. Het is in verreweg het grootste aan- taal gevallen een complexe in- teractie die je niet kunt op- splitsen in elementen die door de natuur en elementen die door de cultuur zijn bepaald." Wetenschappelijk onderzoe- kers zijn vaak de eersten om dat te erkennen. Toch over- heerst het beeld van het op- permachtige gen. Volgens Nelkin wordt dit door sociale en culturele processen ver- oorzaakt.

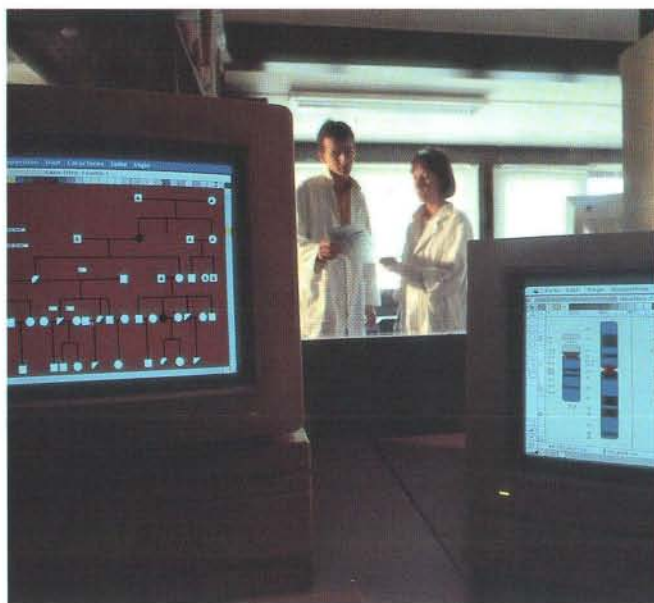
In haar ogen dankt het gen zijn aantrekkingskracht voor- al aan een alom heersend ge- voel van onzekerheid. Nel-

Steeds vaker kunnen erfelijke aandoeningen wel worden opgespoord, maar niet worden voorkomen of genezen.
(foto: Ph. Plailly, Parijs)

kin: "Complexe problemen worden simpel als je ze aan één oorzaak kunt wijten." In tijden van economische neergang en sociale instabiliteit is de gedachte dat alles vastligt in de chromosomen extra aantrekkelijk. De huidige genetica ligt volgens Nelkin in het verlengde van de oude, vooroorlogse eugenetica. "Op dit moment is de wetenschappelijke basis van de genetica natuurlijk veel geavanceerder. Er worden nu geen schelds gemeten. Maar de logica is dezelfde." Nelkin verwijst naar de voormalige president van de American Association for the Advancement of Science, Bentley Glass, die er al in 1970 voor pleitte de nieuwe moleculaire biologie te gebruiken om de kwaliteit van nieuwgeboren baby's te verzekeren. "Geen ouder zou meer het recht moeten hebben de samenleving te belasten met een misvormd of mentaal gehandicapt kind", aldus Glass.

Het is deze verwantschap met de oude eugenetica die Nelkin het meest zorgen baart. "De opkomst van de biologische testen zet de burgerrechten onder druk." In de *New York Times* is de vraag al opgeworpen of er moet worden gewacht tot mensen met een genetische neiging tot criminaliteit inderdaad misdaden begaan. "De schrijver vond het vastzetten van mensen vanwege hun genen nog net even te ver gaan. Het is ook in strijd met de grondwet. Maar het geeft aan tot welke discussie dit leidt", aldus Nelkin.

De rechtspraak ondergaat eveneens de invloed van het gen. Indien het gedrag wordt



gezien als genetisch bepaald, verandert de mate van verantwoordelijkheid van eenieder voor zijn eigen daden. Nelkin constateert een snelle toename van het aantal gerechtelijke beslissingen dat wordt gebaseerd op de betekenis van de genetica. Op alle terreinen: verzekeringsrecht, familerecht, erfzaken en het strafrecht. Biologische testen zoals de DNA-test en nieuwe medische beeldtechnieken voorzien in de bestaande juridische behoefte aan objectiviteit. Zo is de PET-scan, een techniek om het functioneren van het brein in kaart te brengen, in strafzaken geïntroduceerd om de individuele verantwoordelijkheid voor geweldsmisdrijven vast te stellen.

De genetest onthult bovendien ziekten lang voor de symptomen optreden. Het aantal diagnostische tests neemt snel toe, waardoor steeds preciezer kan worden vastgesteld wie welke kans op welke aandoeningen loopt.

Vaak laat de ziekte echter nog jaren op zich wachten. Bovendien kan die lang niet altijd worden genezen, de therapeutische geneeskunde houdt de snelle groei van de diagnostiek eenvoudig niet bij. Nelkin: "Mensen willen in die omstandigheden vaak liever niet weten wat ze later allemaal kunnen krijgen. De kort geleden gevormde testcentra voor de ziekte van Huntington worden bijvoorbeeld onderbenut, sommige zijn al weer gesloten."

Het grootste probleem dat Nelkin met de om zich heen grijpende biologische testen heeft, is de mogelijke uitsluiting van de mensen die niet aan de eisen voldoen. "Elke test veronderstelt een normaal-uitslag. Iedereen die daarvan afwijkt, kan in de problemen komen." Als elk falen wordt toegeschreven aan de genen worden mensen al snel definitief afgeschreven. Nelkin: "We dreigen een genetische onderklasse te scheppen."

Wattenstaafjes en oude meesters

Bij de restauratie van oude schilderijen wil men vaak weten wat voor kleurstof de kunstenaar heeft gebruikt. Tot nog toe was dat moeilijk te achterhalen zonder dat het schilderij daarbij zichtbaar werd beschadigd. Onderzoekers uit Gent en Dortmund hebben nu een zeer gevoelige meetmethode ontwikkeld. Deze methode is zo gevoelig, dat de onderzoekers door wrijven over het schildersdoek met een droog wattenstaafje al voldoende monstermateriaal verkrijgen.

De schilderkunst is bijna zo oud als de mensheid. In de IJstijd brachten mensen al pigmenten aan op de wanden van grotten en holen. Toen was het palet van de kunstenaar nog vrij beperkt, maar in de loop der tijden verschenen talrijke nieuwe kleurmiddelen, waarvan sommige later weer in onbruik raakten. Vanaf de negentiende eeuw ontstond een zeer ruime keuze aan vooral synthetische pigmenten.

De kwaliteit en omvang van het kunsterfgoed van de Lage Landen is wereldbekend. Het in stand houden van dit erfgoed vereist inventarisatie, specifieke bewaaromstandigheden en vakkundige restauraties. Voor een conservator, restaurateur of kunsthistoricus kunnen er vier redenen zijn om iets meer te willen weten over de pigmenten die een kunstenaar heeft gebruikt. Een eerste motief om pigmenten te analyseren is een fundamentele interesse voor de werkmethode van een kunstenaar. Hoe werd een specifieke kleur verkregen? Kan zij worden toegeschreven aan één bepaald pigment of bereidde de schilder een mengsel?

Pigmentanalyse is ook zeer belangrijk voor restauratie. Zij kan namelijk helpen een onderscheid te maken tussen originele verflagen en restauraties of later toege-

voegde passages. De pigmentidentificatie kan cruciaal zijn bij beslissingen zoals het verwijderen van niet-originele lagen of de keuze van het best passende pig-

ment voor retouches. Soms wil een restaurateur weten of een eigenaardig ogende tint een verkleuring is van een oorspronkelijk totaal andere kleur. Een derde reden voor pigmentanalyse is conservatie. De kleur van sommige pigmenten kan veranderen door licht, vocht, hitte en vervuiling. Vaak is het nodig om de



Voorzichtig strijkt een onderzoeker met een wattenstaafje langs de blauwe mantel in het schilderij *De Annunciatie*. De groengrijze gedeelten in de blauwe mantel zijn verkleuringen van smaltblauw. In de niet-verkleurde gedeelten gebruikte de kunstenaar ultramarijn als pigment. (Foto: Laboratorium voor Analytische Scheikunde, Gent)

aanwezige pigmenten te identificeren voordat men een chemische of fysische behandeling toepast. Tenslotte helpt de analyse van pigmenten om de ouderdom van een schilderij te schatten of om vervalsingen te ontdekken.

De laatste decennia werd een brede waaier van analytische technieken gebruikt voor pigmentanalyse, gaande van eenvoudige microchemische identificatiereacties onder een microscoop tot geavanceerde spectrometrische technieken. Voor bijna al deze technieken zijn monsters van de verf nodig. Hoewel de benodigde hoeveelheden niet groot zijn – een monstergewicht in de orde van milligrammen volstaat – is de noodzaak om een zichtbaar fragment van vaak extreem waardevolle schilderijen met een scalpel of met de punt van een naald te verwijderen, vaak voldoende redenen om het idee van pigmentanalyse te laten varen.

Het laboratorium voor Analytische Scheikunde van de Universiteit Gent heeft, in samenwerking met het Institut für Spektrochemie und Angewandte Spektroskopie in Dortmund, een nieuwe methode voor pigmentanalyse op punt gesteld die nagenoeg niet-destructief mag worden genoemd. De methode bestaat uit de combinatie van een unieke ultramicrobemonsteringswijze met een recente en extreem gevoelige analysetechniek, namelijk Totale Reflectie X-straalfluorescentiespectrometrie (TXRF). Zij is een handig en snel hulpmiddel voor restauratie en conservatie van oude schilderijen. Monsterneming, monstervoorbereiding en analyse vergen slechts enkele minuten. Dit opent een heel nieuw toepassingsgebied voor TXRF.

TXRF is een variant van de gebruikelijke röntgenfluorescentie, waarbij de opstelling een speciale geometrische configuratie heeft. Pas de laatste jaren zijn compacte en stabiele instrumenten verkrijgbaar. De primaire röntgenbundel wordt totaal gereflecteerd op een

optisch vlakke monsterdrager. De doordringingsdiepte van de bundel in de monsterdrager is drastisch gereduceerd, zodat de monsterdrager nauwelijks fluoresceert. De primaire röntgenbundel zet de elementen in het monster wel aan tot het uitzenden van fluorescentiestraling. Dankzij de minimale bijdrage van de monsterdrager aan de fluorescentie, kan fluorescentiestraling van een paar tientallen picogram (1 pg = een biljoenste gram) van verscheidene elementen in het monster worden gedetecteerd.

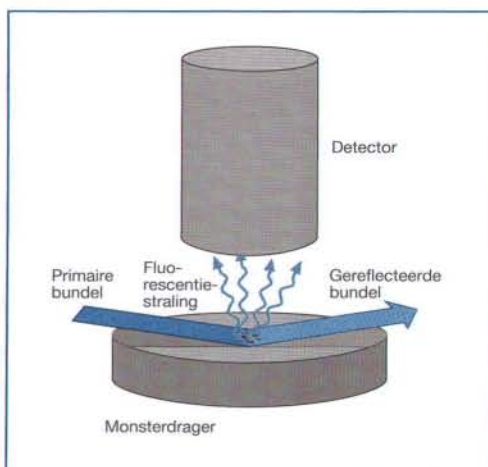
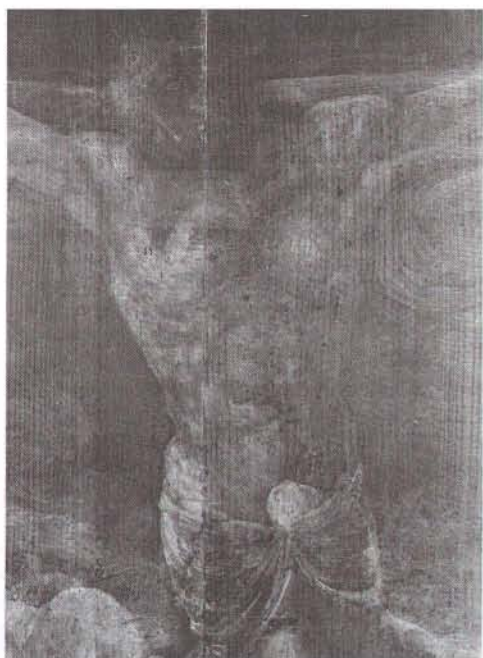
De voorgestelde bemonsteringsmethode bestaat uit het wrijven met een droog en schoon wattenstaafje over de verflaag. Hierbij wordt nog geen halve microgram verf weggenomen, ruim een factor duizend minder dan wat gewoonlijk vereist is. Omdat dit geen enkel spoor nalaat op het oppervlak, mogen we de bemon-

stering quasi-nietdestructief noemen. Zo wordt het nemen van monsters over het hele oppervlak van het schilderij aanvaardbaar.

Als er vernis aanwezig is op de plaats van monsternamen, moet dit eerst worden verwijderd. Dit is echter geen probleem. Zeer vaak is de verwijdering van de vaak verdonkerde vernislaag de eerste stap in de restauratieprocedure. Door na de monsternamen zachtjes met een wattenstaafje op het oppervlak van een monsterdrager te tikken, worden enkele tientallen nanogrammen van het pigment overgebracht voor analyse. Dankzij de extreem hoge gevoeligheid van TXRF kunnen in deze minieme monsterhoeveelheid niet alleen de aard en de mengverhoudingen van verschillende anorganische pigmenten in een verflaag worden bepaald, maar ook relatieve hoeveelheden bijmengingen en onzuiverheden.



■ Een UV-opname toont beschadigingen in een schilderij als grijze en zwarte vlekjes.



Doordat de primaire röntgenstralen volledig worden gereflecteerd door het monsterdrageroppervlak, neemt de detector slechts fluorescentiestraling waar die afkomstig is van het monster.

Doorvallende röntgenstralen tonen ook beschadigingen. (Foto's: Laboratoire d'étude des oeuvres d'art par les méthodes scientifiques. Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve)

Vooraleer de methode te testen op echte schilderijen, werden een twintigtal moderne olieverven uitgestreken op papier en na drogen bemonsterd en geanalyseerd. De herhaalbaarheid van de monsternemingsprocedure werd vervolgens nagegaan met een oud schilderij. De onderzoekers namen veertien monsters op dezelfde plaats in een rode kleurpartij, namelijk het kleed van Madonna, in *De Annunciatie*, een schilderij van de 17e-eeuwse Vlaamse schilder Van den Heuvel. Het betrof een mengsel van voornamelijk vermiljoen (kwik-sulfide) en loodwit (een basisch loodcarbonaat). De gemeten verhoudingen tussen kwik en lood vertoonden slechts kleine verschillen. Om de nauwkeurigheid van de TXRF-analyses te onderzoeken, mengde men bekende hoeveelheden van drie pigmentpoeders en analyseerde men de verkregen monsters met zowel TXRF als met neutronenactiveringsanalyse (NAA). De resultaten van de beide technieken toon-

den een uitstekende overeenkomst.

Tenslotte moest de meetmethode zich bewijzen bij onderzoek aan schilderijen die dateren uit de 16e tot en met de 19e eeuw. In een aantal Italiaanse, Nederlandse en Belgische restauratieateliers namen men in totaal een tachtigtal monsters. Bij de analyse van de monsters, zocht men antwoorden op specifieke vragen. Zo werd de verf geanalyseerd in een blauwe partij in het genoemde schilderij uit 1645 van Van den Heuvel. De mantel van de Madonna vertoonde namelijk in de plooiën een eigenaardige, groengrijze verkleuring, terwijl de lichtere delen helderblauw bleven. De verkleuring werd toegewezen aan de vaak voorkomende ultramarijnziekte. De analyses wezen echter uit dat in de verkleurde zones smaltblauw, een kobalthoudend glaspigment, aanwezig was. Van dat pigment is bekend dat het eveneens kan verkleuren. De Madonna leed dus niet aan ultramarijnziekte.

De ontwikkelde methode beschouwt men als een welkome aanvulling op al bestaande technieken voor pigmentanalyse. Ze is zeer nuttig bij de inventarisatie van het pigmentgebruik van schilders uit verschillende streken en tijdperken. Ondanks het feit dat de analyses beperkt zijn tot de bovenste verflaag, kan de methode haar nut bewijzen bij het helpen oplossen van bepaalde, specifieke problemen. Deze problemen kunnen liggen op het vlak van restauratie, conservatie en expertise van schilderijen die niet gevernist zijn of, wat ook vaak voorkomt, waarvan het vernis ten behoeve van de restauratie is verwijderd. Ook is de techniek bruikbaar voor het pigmentonderzoek van beschilderde meubelen, gepolychromeerde beelden, muurschilderingen of illustraties in manuscripten.

W. Devos en L. Moens
Laboratorium voor Analytische
Scheikunde, Gent

SIMULATICA

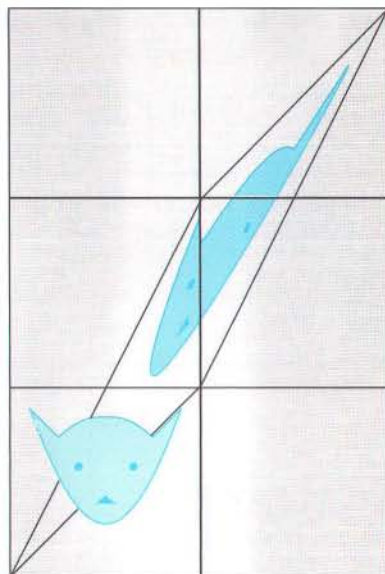
**Prof dr
H.A. Lauwerier**

De kat van Arnold

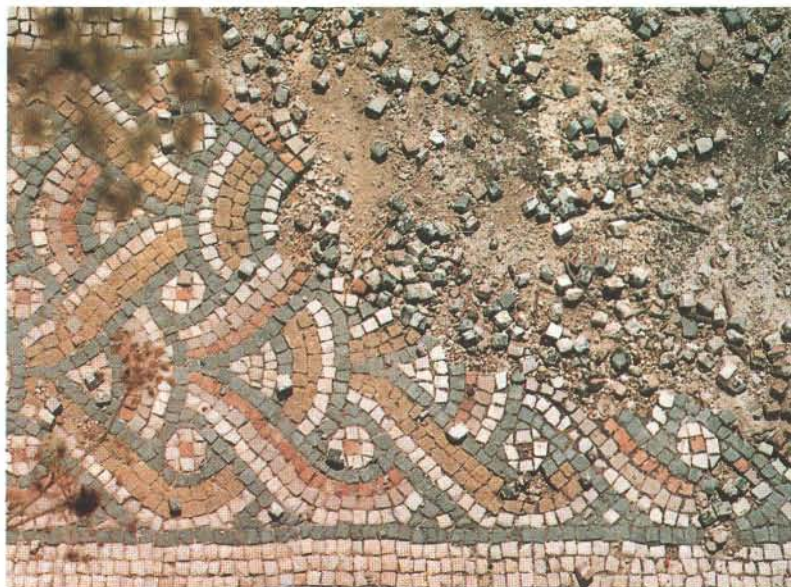
In het kader van een onderzoek van 'dynamische systemen' bedacht de Russische wiskundige Arnold een aardig model van menging en chaos. Dit model lijkt veel op de bakkers-transformatie, waarmee we vorig jaar het kneden van bladerdeeg beschreven. Het model van Arnold wordt beschreven door de formules

$$\begin{aligned}x_1 &= x + y \bmod(1), \\ y_1 &= x + 2y \bmod(1).\end{aligned}$$

Laten we in die formules de termen $\bmod(1)$ weg, dan is de transformatie niets anders dan een lineaire vervorming waarbij uitrekking en inkrumping elkaar compenseren. Als aangeduid in de tweede afbeelding gaat het eenheidsvierkant over in een parallellogram met dezelfde oppervlakte. Arnold illustreerde het effect van die transformatie met een gestyleerde kop van een kat, en sindsdien staat die transformatie in de literatuur be-

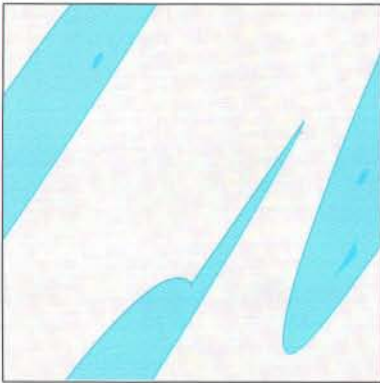


De mozaïekvloer heeft zich over een groot oppervlak verspreid. Zouden we de steentjes groepsgewijs terugleggen, dan ontstaat er een wanordelijke afbeelding. (Foto: Erick Vermeulen, Maastricht.)



kend als *the cat transformation* en is *Arnold's cat* een bekende vakuitdrukking geworden.

De toevoeging $\text{mod}(1)$ wil eigenlijk zeggen dat we op een soort ruitjespapier werken waarbij alle ruitjes identiek zijn. Verlaten we een vierkant, zeg het eenheidsvierkant, bij de rechterrond dan komen we er tegelijk weer binnen langs de linkerrand. Hetzelfde geldt voor onder en boven. Van die identificatie van randen kunnen we ons op de volgende wijze een beeld vormen. Van een rechthoekig stuk papier lijmen we rechterrand en linkerrand aan elkaar zodat we een cilindrische koker krijgen. Is de koker voldoende lang en is het



papier soepel dan kunnen we hetzelfde doen we met onderrand en bovenrand. Het resultaat is wat wiskundigen een torus, fietsers een binnenband en liefhebbers van de Amerikaanse keuken een *doughnut* noemen. Bovenstaande afbeelding toont wat het effect is als de getransformeerde onderdelen van de katekop weer als een legpuzzel in het eenheidsvierkant zijn samengevoegd.

Het programma ARNOLDC stelt de lezer in staat zelf experimenten uit te voeren. Ter vereenvoudiging is de kat vervangen door een cirkel die is gecentreerd in het middelpunt van een vierkant en met een te kiezen straal R . Het programma kiest vierduizend punten op de cirkel. Van elk van die punten maken we met zes iteratiestappen een aantal afbeeldingen, die zijn gemarkeerd door een kleur. Uiteraard kan de lezer dit programma naar believen aanpassen.

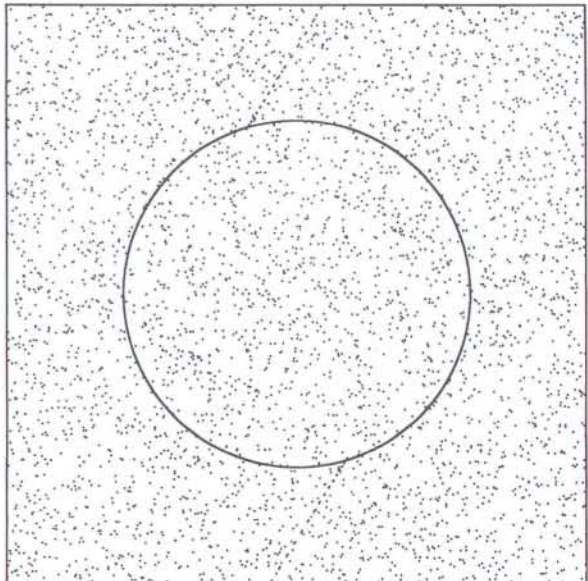
```

REM ***name:ARNOLDC***
SCREEN 12 : CLS
WINDOW (-.5,-.3)-(1.5,1.2)
PI=4*ATN(1) : DIM COL(7)
DATA 0,15,9,10,11,12,13,14
FOR I=0 TO 7 : READ COL(I) : NEXT I
KMAX=4000 : NMAX=6 : R=.3
FOR K=0 TO KMAX
  PHI=2*K*PI/KMAX
  X=.5+R*COS(PHI) : Y=.5+R*SIN(PHI)
  FOR N=1 TO NMAX
    PSET (X,Y),COL(N)
    GOSUB trafo
  NEXT N
  IF INKEY$<>" " THEN END
NEXT K
LINE (0,0)-(1,0) : LINE -(1,1)
LINE -(0,1) : LINE -(0,0)
A$=INPUT$(1)
END
trafo:
  X1=X+Y : Y1=X+2*Y
  X=X1-INT(X1) : Y=Y1-INT(Y1)
RETURN

```

We laten in de tekening hieronder het resultaat zien dat de lezer op het beeldscherm kan verkrijgen, als de oorspronkelijke cirkel van vierduizend punten achtmaal is geïtereerd. De punten van de cirkel zijn als het ware op toevallige wijze over het gehele vierkant verstrooid. Na acht stappen is er al een begin van chaos, of om met de woorden van de keukenmeester te spreken, een goede menging verkregen.

De transformatie die Arnold beschreef, verandert na enkele herhalingen een cirkel in een chaotische verzameling punten.



PRIJSVRAAG

Oplossing maart

De ontleding van metaaloxiden, waaraan de professor in het maartnummer aandacht besteedde, bleek voor veel inzenders een lastig probleem te zijn. Het probleem betrof de ontleding van een koperoxide-opervlak en een zilveroxide-opervlak in metaal en zuurstof. De vormingsenthalpie en de vormingsentropie van de beide oxiden was gegeven. Bij welke temperatuur ontleden de oxiden?

De professor beschouwt de vor-

mingsreacties van de twee verbindingen, $2\text{Ag} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{Ag}_2\text{O}$ en $\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CuO}$. De Gibbs' vrije energie van deze reacties is gelijk aan $-RT\ln K = \Delta H - T\Delta S$. In evenwicht komt er netto geen energie vrij. De professor kan dan de volgende formule afleiden: $\ln K = -\Delta H/(RT) + \Delta S/R$. Omdat de partiële druk van zuurstof in de atmosfeer gelijk is aan 0,2, is K gelijk aan $(p_{\text{O}_2}/p_{\text{O}_2}^\circ)^{-1/2}$. In het eerste geval is $\ln K$, ofwel $\frac{1}{2}\ln(1/0,2) = \frac{1}{2}\ln(5)$ gelijk aan $155000/(8,3144 \cdot T) - 92/8,3144$. Daaruit volgt een evenwichtstem-

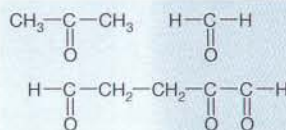
peratuur voor de koperoxide-ontleding van 1571 K. Evenzo volgt voor zilveroxide een ontledings-temperatuur van 426 K.

De ladderprijs, een jaarabonnement op Natuur & Techniek, gaat ditmaal naar Koen De Vilder uit Dendermonde. Bij het bepalen van de lootprijswinnaar, trok de puzzelredactie uit de stapel inzendingen de oplossing van Ruud Waterval uit Reusel. Hij mag een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek kiezen. ■

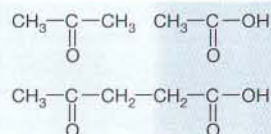
De nieuwe opgave

Op woensdag eet de professor rode kool met appeltjes. Terwijl de rode massa pruttelt in de pan, voegt de professor er een laurierblaadje aan toe. Dat geeft een lekkere smaak en geur. Laatst on-

derzocht de professor een zeep, die was gemaakt met laurierolie. Daar trof hij de verbinding myrceen in aan, een terpeen met de brutoformule $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$. Deze verbinding reageert met waterstof tot $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ en bij ozonolyse ontstaan de volgende verbindingen:

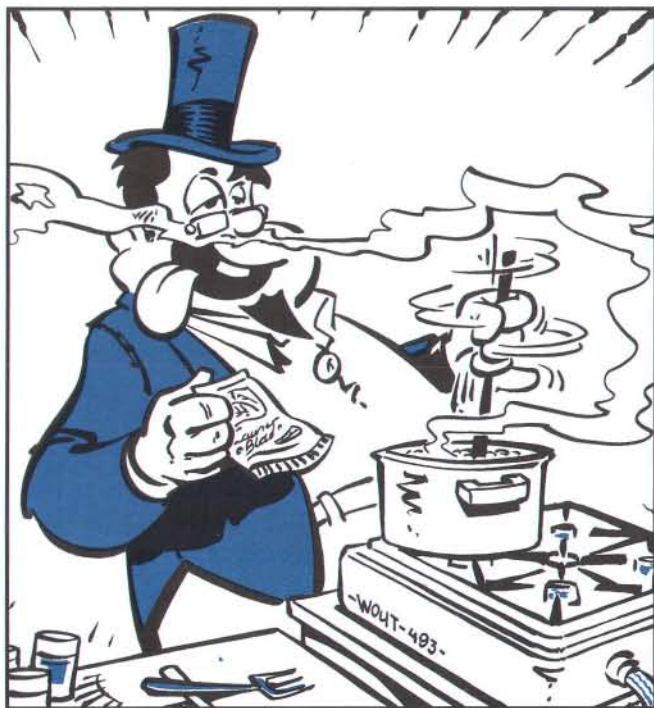


Welke drie structuurformules kan myrceen hebben en welke is het waarschijnlijkst bij het gebruik van de isopreenregel? (Isopreen is $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$) Een verwante verbinding is dihydromyrceen, met de brutoformule $\text{C}_{10}\text{H}_{18}$. Als de professor deze verbinding met kaliumpermanganaat laat reageren, ontstaan de volgende verbindingen:



Wat is de structuurformule van dihydromyrceen?

Deze opgave werd aan Natuur & Techniek verstrekt door de Stichting Scheikunde Olympiade Nederland. Oplossingen van deze prijsvraag moeten uiterlijk 1 juli 1993 zijn gearriveerd op het volgende adres: Natuur & Techniek, Puzzelredactie, Postbus 415, 6200 AK MAASTRICHT. ■



VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Klimaat

Prof dr ir J. Goudriaan

Het broeikaseffect leidt tot klimaatveranderingen. De vegetatie past zich aan en er zullen ecosystemen verdwijnen en nieuwe ontstaan. Omgekeerd hebben vegetaties effect op de samenstelling van de atmosfeer. De natuur heeft de tijd om veranderingen op te vangen, maar de mensheid niet.



Airbus

B. van der Klaauw

Deze zomer verschijnt er een nieuw vliegtuig op de grote luchtlijnen. Het is de A340 van Airbus Industrie, ontworpen en gebouwd door Europese vliegtuigfabrikanten. Die openen hiermee een forse aanval op de door Amerikanen beheerste markt van verkeersvliegtuigen voor de lange afstand.



Training

Prof dr M. Rieu

In dit nummer beschrijft Rieu hoe de bestudering van topsporters ons veel leert over de bouw en de werking van spierweefsel. Training zorgt

voor krachtiger spieren en heeft effecten op het hormoonevenwicht, maar te veel trainen is niet goed. Doping zorgt voor een sneller resultaat.



Speeksel

Prof dr A. van Nieuw Amerongen en dr E.C.I. Veerman

Speeksel is een lichaamsvloeistof die op weinig belangstelling van onderzoekers kan rekenen. Alleen de zetmeelaafbreker amylase geniet enige bekendheid. Speeksel bevat echter allerlei eiwitten die belangrijk zijn bij spreken, slikken en de bescherming van tanden en slijmvliezen.

Plastic

Dr ir J.A.M. Remmerswaal

Plastic heeft een dubieuze reputatie. In de jaren vijftig en zestig werd West-Europa overspoeld met goedkoop kunststof speelgoed, dat snel rijp was voor de prullenbak. Tegenwoordig is beter bekend hoe plastics ten onder gaan aan vermoeding. Constructeurs kunnen daar rekening mee houden.

Geneesmiddelen-Innovatie vandaag voor de gezondheid van morgen:

Boehringer Ingelheim stelt zich voor:

Boehringer Ingelheim begon haar activiteiten in de chemische en farmaceutische sector in 1885.

Boehringer Ingelheim neemt thans, meer dan honderd jaar later, een belangrijke plaats in op de lijst van de grootste farmaceutische ondernemingen ter wereld.

De belangrijkste doelstelling van Boehringer Ingelheim is het continueren van de activiteiten voor research en ontwikkeling van innovatieve geneesmiddelen. De onderneming investeerde in 1987 daarvoor een bedrag van 650 miljoen Duitse Mark, hetgeen 20% van haar inkomsten uit farmaceutische producten in dat jaar uitmaakte. In 1988 is hiervoor 643 miljoen Duitse Mark geïnvesteerd, ofwel 19,0% van de totale omzet.

De research-centra van Boehringer Ingelheim bevinden zich in de Bondsrepubliek Duitsland, zowel in Ingelheim als in Biberach, in Oostenrijk (Wenen) en in Italië (Milaan). Voorts zijn er nog research-centra in

Ridgefield in de Verenigde Staten en in Kawanishi in Japan.

Enkele jaren geleden hebben, bij de dochteronderneming Dr. Karl Thomae te Biberach, onderzoek en ontwikkeling op het gebied van recombinant-DNA-technologie hoge prioriteit gekregen.

werd gesteld. Deze fabriek, waar alleen Actilyse kan worden geproduceerd, vergde een investering van 135 miljoen Duitse Mark.

Boehringer Ingelheim heeft thans eigen vestigingen in meer dan 80 landen, terwijl haar geneesmiddelen in meer dan 140 landen worden verkocht. In een

aantal prioriteitslanden met eigen vestigingen wordt klinisch onderzoek geënta-meerd en be-geleid. Nederland is één van de belangrijkste

landen waar relatief veel klinisch geneesmiddelen-onderzoek wordt verricht, waardoor Boehringer Ingelheim Alkmaar in Nederland een belangrijke bijdrage levert aan de ontwikkeling van nieuwe geneesmiddelen.



In samenwerking met Genentech Inc. uit San Francis-co, USA, heeft Boehringer Ingelheim het eerste biotechnologisch verkregen geneesmiddel op het gebied van hart- en vaatziekten -Actilyse- op grote schaal gefabriceerd en klinisch onderzocht. Dit produkt lost stolsels op in o.a. de bloedvaten van het hart, welke de belangrijkste oorzaak van het hartinfarct vormen.

Actilyse wordt geproduceerd in het nieuwe biotechnicum te Biberach, dat op 11 november 1986 in bedrijf



**Boehringer
Ingelheim**

Boehringer Ingelheim bv
Postbus 8037
1802 KA Alkmaar
Telefoon 072-662463